

Säteilysuojelun perussuositukset 2007

Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103

R. Mustonen, K-L. Sjöblom, R. Bly, R. Havukainen,
T.K. Ikäheimonen, A. Kosunen, M. Markkanen, W. Paile

Säteilysuojelun perussuositukset 2007

Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103

R. Mustonen, K-L. Sjöblom, R. Bly, R. Havukainen,
T.K. Ikäheimonen, A. Kosunen, M. Markkanen, W. Paile

Tässä raporttisarjassa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 978-952-478-439-9 (nid.)

ISBN 978-952-478-440-5 (pdf)

ISSN 0781-1705

Edita Prima Oy, Helsinki 2009

Myynti:

STUK – Säteilyturvakeskus

PL 14, 00881 Helsinki

Puh. (09) 759 881

Faksi (09) 759 88500

MUSTONEN Raimo, SJÖBLOM Kirsti-Liisa, BLY Ritva, HAVUKAINEN Ritva, IKÄHEIMONEN Tarja K., KOSUNEN Antti, MARKKANEN Mika, PAILE Wendla. Säteilysuojelun perussuositukset 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. STUK-A235. Helsinki 2009, 108 s. + liitteet 14 s.

Avainsanat: ICRP 103, suositukset, säteilysuojelu

Esipuhe

Kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan (ICRP, International Commission on Radiological Protection) uudet perussuositukset hyväksyttiin maaliskuussa 2007 kahdeksan vuotta kestäneiden keskustelujen jälkeen. Keskusteluihin ottivat osaa niin tiedemiehet ja valvontaviranomaiset kuin myös säteilyn käyttäjät kaikkialla maailmassa sekä lukuisat kansainväliset, valtiolliset ja kolmannen sektorin sidosryhmät. Perustamisestaan, vuodesta 1928 lähtien, ICRP on säännöllisin väliajoin julkaissut suosituksia koskien suojautumista ionisoivan säteilyn vahingollisia vaikutuksia vastaan.

Vuonna 1991 ICRP julkaisi aikaisemmat perussuosituksensa (ICRP 60). Tämän jälkeen on julkaistu paljon uutta tieteellistä tietoa säteilyn vaikutuksista, ja vaikka biologiset ja fysikaaliset oletukset säilyvätkin suhteellisen ennallaan, joitakin päivityksiä perussuosituksiin tarvittiin. Tämä Säteilyturvakeskuksen raportti on jonkin verran lyhennetty suomennos näistä uusista suosituksista ja se on pyritty kirjoittamaan mahdollisimman helppotajuiseen muotoon tinkimättä kuitenkaan sisällön tarkkuudesta. Tämä suomennos on tarkoitettu säteilysuojelun ja säteilyn parissa työskenteleville niin terveydenhuollossa, teollisuudessa kuin myös tutkimuksessa ja opetuksessa.

Vuoden 2007 suosituksissa on siirrytty säteilytoimintaan ja interventioon perustuvasta lähestymistavasta säteilyaltistustilanteiden erityispiirteisiin perustuvaan lähestymistapaan. Säteilysuojelujärjestelmä soveltuu periaatteessa kaiken tyyppisiin altistustilanteisiin. On merkittävää, että ICRP ensimmäistä kertaa korostaa eri sidosryhmien mielipiteiden ja huolenaiheiden huomioon ottamista optimointiprosessissa. Toisaalta ICRP itse otti uusien suositusten valmistelussa käyttöön aikaisempaa avoimempaa ja eri sidosryhmien mielipiteet huomioon ottavan menettelyn. ICRP uskoo, että täten suositukset tulevat selvemmin ymmärretyiksi ja laajasti hyväksytyiksi.

Alalla toimivat kansainväliset järjestöt järjestivät lukuisia tapahtumia uusien suositusten luonnosversioiden käsittelemiseksi. Esimerkiksi

Kansainvälinen säteilysuojelujärjestö (IRPA) järjesti suositusten arviointeja jäsenjärjestöjensä kautta maailmanlaajuisesti vuosien 2000 ja 2004 kongresseissaan. Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (OECD) ydinenergiajärjestö (NEA) järjesti seitsemän kansainvälistä keskustelutilaisuutta ja suoritti neljä yksityiskohtaista suositusluonnosten arviointia. Nyt kun ICRP:n uudet suositukset on julkaistu, ne tulevat epäilemättä vaikuttamaan Euroopan unionin säteilysuojelua koskevien perusstandardien ja aikanaan myös Suomen säteilylainsäädännön kehittämiseen.

Säteilyturvakeskus päätti työstää uusista suosituksista suomenkielisen raportin, koska kyseinen ICRP:n julkaisu sisältää periaatetasolla säteilysuojelun keskeiset ohjaimet tuleviksi vuosiksi. Uudet suositukset on julkaistu ICRP:n raporttisarjassa, *Annals of the ICRP*, vol. 37, Nos 2–4, 2007. Raportti on ICRP:n 103. julkaisu ja sen nimi on ”The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection” (ICRP 103).

Helsingissä 5.12.2008

Raimo Mustonen

MUSTONEN Raimo, SJÖBLOM Kirsti-Liisa, BLY Ritva, HAVUKAINEN Ritva, IKÄHEIMONEN Tarja K., KOSUNEN Antti, MARKKANEN Mika, PAILE Wendla. Radiation protection recommendations 2007. The Finnish translation of the publication ICRP 103. STUK-A235. Helsinki 2009, 108 pp + Appendices 14 pp.

Keywords: ICRP 103, recommendations, radiation protection

Preface

The new recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) were approved in March 2007, after eight years of discussions, involving scientists, regulators, radiation users, and several international, national and non-governmental stakeholders all around the world. Since its inception in 1928, the Commission has regularly issued recommendations regarding protection against the hazards of ionising radiation.

In 1991 the ICRP issued its previous basic recommendations (ICRP 60). New scientific data have been published since Publication 60, and while the biological and physical assumptions and concepts remain robust, some updating is required. This report of the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) is slightly abridged Finnish translation of the new recommendations. The authors aspired to write the report in an intelligible format without bargaining about exactness of the content. The Finnish translation is intended to those working within radiation protection or radiation use in health care, industry, as well as in research and education.

In its revised system of protection, the recommendations of the ICRP now evolve from the previous process-based approach of practices and interventions to an approach based on the characteristics of radiation exposure situations. In taking this approach, the ICRP wishes to affirm that its system of protection can be applied in principle to any situation of radiation exposure. It is important to note that the ICRP has initiated a much more open process than that used for the development of the previous recommendations. It should also be noted that the ICRP mentions, for the first time, the need to account for the views and concerns of stakeholders when optimising protection. The ICRP believes that in this way the recommendations will be understood more clearly and widely accepted.

Many international organisations arranged particular activities on draft versions of the recommendations. For instance, the International Radiation

Protection Association (IRPA) arranged reviews through its member organisations world-wide for their 2000 and 2004 congresses. The Nuclear Energy Agency of the OECD organised seven international workshops and performed four detailed assessments of draft ICRP texts. Now that the new ICRP recommendations have been published, they will, without any doubt, have an influence to development of the Basic Safety Standards of the European Union and after that the Finnish radiation protection legislation.

STUK decided to translate the recommendations into a Finnish report, because the ICRP publication in question contains, at the principle level, all central guides of radiation protection for the forthcoming years. The new recommendations are published in the report series of the ICRP, Annals of the ICRP, Volume 37, Nos. 2–4, 2007. The report is ICRP's hundred third publication and its title is "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP 103).

In Helsinki, December 5, 2008

Raimo Mustonen

Sisällys

ESIPUHE	3
PREFACE	5
TIIVISTELMÄ	11
1 JOHDANTO	18
2 SUOSITUSTEN TARKOITUS JA SOVELTAMISALA	22
2.1 Suositusten tarkoitus	22
2.2 Säteilysuojelun perusta ja rakenne	23
2.3 Suositusten soveltamisala	26
2.4 Rajausta ja valvonnasta vapauttaminen	27
3 SÄTEILYSUOJELUN BIOLOGISET NÄKÖKOHDAT	29
3.1 Suorat (deterministiset) vaikutukset	29
3.2 Satunnaiset (stokastiset) vaikutukset	30
3.2.1 Syöpäriski	30
3.2.2 Perinnöllisten vaikutusten riski	32
3.2.3 Syövän ja perinnöllisten vaikutusten haitan mukaan sovitettavat nimelliset riskikertoimet	33
3.2.4 Geneettinen herkkyys syövälle	34
3.3 Muiden sairauksien kuin syövän syntyminen	34
3.4 Säteilyn vaikutukset alkioon ja sikiöön	35
3.5 Päätelmät ja epävarmuudet	36
4 SÄTEILYSUOJELUSSA KÄYTETTÄVÄT SUUREET	37
4.1 Johdanto	37
4.2 Terveysvaikutusten huomioon ottaminen	37
4.3 Annossuureet	38
4.3.1 Absorboitunut annos	38
4.3.2 Annoksen keskiarvon määrittäminen	38
4.3.3 Ekvivalenttiannos ja säteilyn painotuskertoimet	39
4.3.4 Efektiivinen annos ja kudosten painotuskertoimet	43
4.3.5 Efektiivisen annoksen määrittäminen	44
4.3.6 Käyttösuureet	46

4.4	Säteilyaltistuksen arviointi	47
4.4.1	Ulkoinen säteilyaltistus	47
4.4.2	Sisäinen säteilyaltistus	47
4.4.3	Työperäinen altistus	49
4.4.4	Väestöaltistus	50
4.4.5	Potilaiden lääketieteellinen altistus	50
4.4.6	Efektiivisen annoksen soveltaminen	51
4.4.7	Kollektiivinen efektiivinen annos	52
4.5	Päättyt ja epävarmuudet	53
5	IHMISEN SÄTEILYSUOJELU	55
5.1	Lähteen määritelmä	56
5.2	Altistustilanteet	56
5.3	Altistustyyppit	57
5.3.1	Työperäinen altistus	57
5.3.2	Väestöaltistus	58
5.3.3	Potilaiden lääketieteellinen altistus	58
5.4	Altistuvien henkilöiden tunnistaminen	58
5.4.1	Työntekijät	58
5.4.2	Väestö	60
5.4.3	Potilaat	61
5.5	Säteilysuojelun tasot	61
5.6	Säteilysuojelun periaatteet	62
5.7	Oikeutus	63
5.7.1	Oikeutusperiaatteen soveltaminen	63
5.7.2	Altistus, joka ei ole oikeutettua	64
5.8	Suojelun optimointi	65
5.9	Annosrajoitukset ja enimmäistasot	67
5.9.1	Annosrajoitukset	69
5.9.2	Enimmäistasot	69
5.9.3	Lähdekohtaisten annosrajoitusten ja enimmäistasojen valintaan vaikuttavat tekijät	70
5.10	Annosrajat	72
6	SUOSITUSTEN TOTEUTTAMINEN	75
6.1	Suunnitellut altistustilanteet	75
6.1.1	Työperäinen altistus	76
6.1.2	Väestöaltistus	76
6.1.3	Potentiaalinen altistus	77

6.2	Säteilyvaaratilanne	80
6.3	Vallitseva altistustilanne	83
6.3.1	Sisäilman radon asunnoissa ja työpaikoissa	84
6.4	Alkion ja sikiön suojelu säteilyvaaratilanteessa ja vallitsevassa altistustilanteessa	86
6.5	Säteilysuojelukriteerien vertailu	87
6.6	Suositusten käytännön toteutus	87
6.6.1	Säteilysuojelun ja säteilyturvallisuuden perusrakenteet	87
6.6.2	Ulkopuoliset asiantuntijat ja neuvot; toimivallan siirtäminen	91
6.6.3	Raportointi poikkeavista tapahtumista	91
6.6.4	Johtamista koskevat vaatimukset	91
6.6.5	Säteilysuojelustandardien noudattaminen	92
7	SÄTEILYN LÄÄKETIETEELLISESTÄ KÄYTÖSTÄ AIHEUTUVA ALTISTUS: POTILAAT, POTILAIEN TUKIHENKILÖT JA BIOLÄÄKETIETEELLISEEN TUTKIMUKSEEN OSALLISTUVAT VAPAAEHTOISET	94
7.1	Säteilylle altistavan toiminnon oikeutus	96
7.1.1	Toimenpiteen oikeutuksen arvioiminen	96
7.1.2	Toimenpiteen oikeutuksen arvioiminen yksittäiselle potilaalle	97
7.2	Suojelun optimointi lääketieteellisessä altistuksessa	97
7.2.1	Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot	97
7.2.2	Sädehoito	98
7.3	Efektiivinen annos säteilyn lääketieteellisen käytön aiheuttamasta altistuksesta	98
7.4	Raskaana olevien potilaiden altistus	99
7.5	Onnettomuuksien ehkäisy ulkoisessa sädehoidossa ja tykösädehoidossa	100
7.6	Isotooppitutkimuksessa olleen tai isotooppihoitoa saaneen potilaan tukihenkilöiden suojelu	100
7.7	Vapaaehtoiset koehenkilöt biolääketieteellisessä tutkimuksessa	101
8	YMPÄRISTÖN SÄTEILYSUOJELU	103
8.1	Ympäristön säteilysuojelun tarkoitus	103
8.2	Tyyppieläimet ja tyypipikasvit	104

VIITTEET	105
LIITE SÄTEILYSUOJELUN KESKEISTÄ SANASTOA	109

Tiivistelmä

(1) Kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan vuoden 2007 perussuositukset (ICRP 103) korvaavat toimikunnan edelliset, vuonna 1991 julkaistut suositukset (ICRP 60). Uudet perussuositukset yhdistävät ICRP 60:n ja kaikki sen jälkeen annetut ohjeet yhdeksi kokonaisuudeksi.

(2) Perussuosituksien pääpiirteet ovat:

- Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen laskemisessa käytettävät säteilyn ja kudosten painotuskertoimet sekä säteilyn aiheuttama kokonaisuuhaitta on päivitetty perustuen viimeiseen tietoon säteilyn vaikutuksista;
- ICRP:n kolme perusperiaatetta on säilytetty, nimittäin oikeutus, optimointi ja yksilönsuoja. Samalla on selvennetty sitä miten niitä sovelletaan altistusta aiheuttaviin lähteisiin ja altistuvien yksilöiden suojelemiseen;
- Aikaisemmasta prosessiperusteisesta suojelunäkökulmasta, jossa altistustilanteet määriteltiin joko toiminnaksi tai interventioksi, on siirrytty tilanneperusteiseen näkökulmaan. Säteilysuojelun perusperiaatteita, oikeutusta ja optimointia sovelletaan kaikkiin altistustilanteisiin, joita voi valvoa: suunniteltuun altistustilanteeseen, säteilyvaaratilanteeseen ja vallitsevaan altistustilanteeseen;
- Suunnitelluissa altistustilanteissa sovellettavat yksilöannosrajat pidetään ennallaan. Nämä rajat määrittelevät suurimman annoksen, jonka ylittymistä valvontaviranomainen ei voi hyväksyä missään suunnitellussa altistustilanteessa;
- Suojelun optimointiperiaatteen käyttöä vahvistetaan. Sitä tulee käyttää samalla tavoin kaikissa altistustilanteissa yhdessä yksilöannoksen ja yksilön riskin rajoittamisen kanssa. Suunnitellussa altistustilanteessa käytetään annos- ja riskirajoituksia ja säteilyvaaratilanteessa ja vallitsevassa altistustilanteessa enimmäistasoja;
- Suositukseen on otettu lyhyt kuvaus menetelmästä, jolla voidaan osoittaa että ympäristön säteilysuojelu toteutuu.

(3) ICRP:n säteilysuojelujärjestelmä soveltuu kaikkeen ionisoivan säteilyn lähteistä johtuvaan altistukseen, riippumatta lähteen koosta tai alkuperästä. Suosituksia voi kuitenkin täysipainoisesti soveltaa vain sellaisissa tilanteissa, joissa joko altistuksen lähde tai yksilöihin johtavia altistustilanteita voidaan asiallisesti valvoa. Jotkin altistustilanteet rajataan säteilysuojelusäännösten ulkopuolelle, yleensä siksi, että niitä ei voida viranomaistoimin valvoa. Joidenkin lähteiden ja toimintojen valvontaa voidaan pitää tarpeettomana ja ne voidaan viranomaispäätöksellä vapauttaa osittain tai kokonaan valvonnasta.

(4) Käsitys riskin jakautumisesta eri kudosten ja elinten välillä on muuttunut jonkin verran ICRP 60 julkaisemisen jälkeen; erityisesti tämä koskee rintasyövän ja perinnöllisten sairauksien riskejä. Kun käytetään lineaarista annosvastemallia, kokonaishaittaa kuvaava riskikerroin säilyy kuitenkin ennallaan ja se on edelleen noin 5 % yhtä sievertiä kohti. Tässä arviossa on säilytetty annoksen ja annosnopeuden vaikutuksen vähennystekijän arvona edelleen 2 kiinteille syöpäkasvaimille. ICRP päätelee myös, että sikiön altistumisesta aiheutuva syöpäriski on samansuuruinen kuin pikkulasten ja että on olemassa kynnsannos epämuodostumien syntymiselle ja vakavan henkisen jälkeenjääneisyyden ilmenemiselle. ICRP on säilyttänyt efektiivisen annoksen sekä ihon, käsien ja jalkojen sekä silmien ekvivalenttiannosten rajat ennallaan, mutta toteaa, että erityisesti silmien suhteen tarvitaan lisätietoa ja suosituksia voidaan myöhemmin joutua muuttamaan. ICRP katsoo, että käytettävissä oleva tietämys muiden sairauksien kuin syövän (esim. sydän- ja verisuonisairauksien) mahdollisesta lisääntymisestä ei vielä riitä arvioimaan riskiä pienillä annoksilla.

(5) ICRP:n laaja uudelleenarviointi ionisoivan säteilyn terveysvaikutuksista ei ole antanut aihetta perustavanlaatuisiin muutoksiin säteilysuojelussa. Vuodesta 1991 lähtien voimassa olevat numeeriset suositukset ja toimintaohjeet säilyvät ennallaan, jollei asiasta erikseen toisin mainita. Siten nämä uudistetut suositukset eivät anna aihetta mihinkään huomattaviin muutoksiin säteilysuojelusäännöstössä.

(6) Perussuosituksissa säilytetään keskeinen oletamus lineaarisesta annos-vastesuhteesta syövän ja perinnöllisten vaikutusten syntymisessä. Olettamuksen mukaan annoksen kasvaessa riski kasvaa samassa suhteessa myös pienillä annoksilla. Tällöin voidaan sisäisestä ja ulkoisesta altistuksesta johtuvat annokset laskea yhteen.

(7) Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen käyttö säilyy ennallaan, mutta niiden laskentamenetelmiin on tehty huomattavia muutoksia. Eri säteilylajien suhteellista biologista vaikuttavuutta koskevan tiedon läpikäyminen ja biofysikaaliset tarkastelut ovat johtaneet muutoksiin neutronien ja protonien painotuskertoimissa. Neutronien painotuskerrointa kuvataan nyt jatkuvalla käyrällä. Lisäksi varauksisten pionien painotuskerroin on otettu mukaan. Fotonien, elektronien, myonien ja alfahiukkasten kertoimet säilyvät ennallaan.

(8) Tärkeä muutos perussuosituksissa on ulkoisista ja sisäisistä lähteistä tulevan annoksen laskeminen käyttäen ihmiskehoa kuvaavia tietokonepohjaisia vertailufantomeja, jotka perustuvat lääketieteellisestä tomografiakuvauksesta

saatuihin tietoihin. Menetelmä korvaa erilaiset matemaattiset mallit. Aikuisten ekvivalenttiansiannokset lasketaan keskiarvona mies- ja naispuolisten fantomien antamista tuloksista. Efektiiviset annokset lasketaan sitten käyttäen korjattuja kudospainotuskertoimia, jotka perustuvat päivitettyyn tietoon riskistä ja ovat keskiarvoja iän ja sukupuolen suhteen. Nämä kudospainotuskertoimet on tarkoitettu käytettäväksi molemmista sukupuolista ja kaikista ikäluokista koostuvalle väestölle. Efektiivinen annos lasketaan ns. perushenkilölle eikä jollekulle yksilölle.

(9) Efektiivinen annos on tarkoitettu käytettäväksi säteilysuojelun välineenä. Efektiivisen annoksen tärkeimmät käyttötavat ovat etukäteen tehtävä säteilysuojelun suunnittelu ja optimointi sekä viranomaisvalvonnan yhteydessä sen osoittaminen että annosrajoja noudatetaan. Efektiivisen annoksen käyttöä ei suositella epidemiologisissa arvioissa. Sitä ei myöskään pidä käyttää tutkittaessa jälkikäteen yksityiskohtaisesti yksilöiden altistusta ja riskiä.

(10) Kollektiivista efektiivistä annosta käytetään optimoinnin apuvälineenä säteilyn käyttöön liittyvien teknologioiden ja suojelutoimenpiteiden vertailussa pääasiassa työperäisen altistuksen yhteydessä. Kollektiivista efektiivistä annosta ei ole tarkoitettu epidemiologisen riskiarvioinnin työkaluksi eikä sitä pidä käyttää riskin ennustamiseen. Hyvin pienten yksilöannosten kerryttäminen pitkien aikajaksojen yli ei ole asiallista. Erityisesti tulisi välttää syöpäkuolemien laskemista mitättömien yksilöannosten muodostaman kollektiivisen efektiivisen annoksen perusteella.

(11) Säteilysuojelun määrittämisessä käytetään erilaisia malleja. Niillä esitetään ulkoisen altistuksen geometriaa, kehossa olevien radionuklidien biokinetiikkaa ja itse kehoa. Referenssimallit ja tarvittavien parametrien arvot perustuvat kokeellisiin tutkimuksiin ja asiantuntija-arvioon. Kun niitä käytetään valvontatarkoituksiin, ne katsotaan referenssimenetelmiksi, eikä niiden käytössä niin ollen oteta huomioon epävarmuustekijöitä. ICRP on kuitenkin tietoinen mallien ja parametrien epätarkkuudesta ja niihin sisältyvistä epävarmuuksista. Niitä arvioidaan kriittisesti ja epävarmuuksia pyritään pienentämään. Yksilöitä koskevissa jälkikäteen tehtävissä annos- ja riskiarvioissa tulee ottaa huomioon yksilökohtaiset tekijät ja epävarmuudet.

(12) Aiemmin annettuja ohjeita ja suosituksia yhteen sovitettaessa nähtiin, että ohjeiden selvyys ja käytettävyyden lisäämiseksi säteilysuojelun rakenteeseen ja terminologiaan oli syytä tehdä joitakin muutoksia. Erityisesti toiminnan ja intervention erottaminen on tuottanut vaikeuksia joillekulle säteilysuojelun

parissa työskenteleville, ja joitakin altistustilanteita on hyvin vaikeaa luokitella sillä tavalla.

(13) ICRP jakaakin nyt altistustilanteet kolmeen eri tyyppiin, jotka korvaavat entiset toiminnan ja intervention ja kattavat kaikki mahdolliset altistustilanteet. Altistustilanteet ovat:

Suunnitellut altistustilanteet: Säteilylähteen suunnitelman mukainen käyttöönotto ja käyttö. Tämä altistustilannetyyppi kattaa ne tilanteet, joita aiemmin kutsuttiin toiminnaksi.

Säteilyvaaratilanteet: Odottamattomia, esimerkiksi suunnitellun käytön aikaisia vaaratilanteita tai pahantahtoista toiminnasta johtuvia tilanteita, jotka vaativat kiireellisesti huomiota.

Vallitsevat altistustilanteet: Tilanteet, jotka ovat jo olemassa kun päätös valvonnasta tehdään, kuten esimerkiksi luonnonsäteilystä aiheutuva altistus.

(14) Säteilysuojelun kolme perusperiaatetta säilyvät ennallaan. *Oikeutus- ja optimointiperiaatteita* sovelletaan kaikissa altistustilanteissa, mutta *yksilönsuojaperiaatetta* sovelletaan vain suunnitelluista altistustilanteista johtuviin, varmuudella odotettavissa oleviin annoksiin. Nämä periaatteet ovat:

Oikeutusperiaate: Jokaisen toimenpiteen, joka muuttaa säteilyaltistusta, täytyy tuottaa enemmän hyötyä kuin haittaa.

Optimointiperiaate: Tapahtuvan altistuksen todennäköisyys, altistuvien henkilöiden lukumäärä ja heidän yksilöannoksensa täytyy kaikki pitää niin alhaisina kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista, ottaen huomioon taloudelliset ja yhteiskunnalliset tekijät.

Yksilönsuojaperiaate: Kenenkään valvotuista lähteistä aiheutuva kokonaisannos suunnitelluissa altistustilanteissa, potilaan lääketieteellistä altistusta lukuun ottamatta, ei saa ylittää ICRP:n määrittelemiä rajoja.

ICRP erottelee edelleen kolme altistustyyppiä: Työperäinen altistus, väestöaltistus ja potilaiden lääketieteellinen altistus (mukaan lukien potilaita tukevien henkilöiden ja tutkimuksiin osallistuvien vapaaehtoisten altistus). Kun työntekijä on ilmoittanut, että hän on raskaana, täytyy harkita tarvitaanko lisärajoituksia sen varmistamiseksi, että sikiön suojelu on samalla tasolla kuin väestön yleensä.

(15) Uudet perussuosituksot painottavat optimoinnin tärkeyttä. Optimointia tulee soveltaa samalla tavalla kaikissa altistustilanteissa. Perushenkilön annosta rajoitetaan siten että suunnitellussa altistustilanteessa käytetään

annosrajoituksia ja säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa enimmäistasoja. Sellaiset vaihtoehdot, joista aiheutuvat annokset olisivat suuruusluokaltaan suurempia kuin edellä mainitut rajoitukset, tulee suunnitteluvaiheessa hylätä. Tämä annosten rajoittaminen tehdään etukäteen, kuten koko optimointiprosessikin. Jos optimointiprosessin jälkeen myöhemmin havaitaan että annosrajoitus tai enimmäistaso on kuitenkin ylitetty, syy siihen tulee selvittää, mutta pelkän ylityksen ei tarvitse aiheuttaa viranomaistoimintaa.

(16) Kansalliset viranomaiset yleensä päättävät annosrajoituksista ja enimmäistasoista. Uudet perussuositukset (ICRP 103), joissa otetaan huomioon ICRP:n aiemmin antamat numeeriset ohjeet, on tarkoitettu tukemaan tätä päätöksentekoa.

(17) Suunnitellut altistustilanteet käsittävät ne säteilylähteet ja tilanteet, joita ICRP on aikaisemmin kutsunut toiminnaksi. Säteilysuojelu säteilyn lääketieteellisen käytön aikana kuuluu myös tämän tyyppisiin tilanteisiin. Suunniteltuja altistustilanteita koskevan säteilysuojelun suunnittelussa täytyy ottaa huomioon myös poikkeamat normaalista käytöstä kuten onnettomuudet ja pahantahtoinen toiminta. Tällaisista olosuhteista johtuvaa altistusta kutsutaan potentiaalisiksi altistukseksi. Potentiaalista altistusta ei ole suunniteltu, mutta sitä voidaan ennakoida. Lähteen valmistajan ja käyttäjän täytyy siksi pyrkiä pienentämään potentiaalisen altistuksen mahdollisuutta arvioimalla siihen johtavien tapahtumien todennäköisyyttä ja ottamalla käyttöön teknisiä turvatoimia, joilla todennäköisyyttä voidaan pienentää. Suunniteltuja altistustilanteita koskevat suositukset säilyvät olennaisilta osiltaan samanlaisina kuin ICRP 60:ssa ja sen jälkeisissä ohjeissa. Samat työntekijöiden ja väestön annosrajat, jotka aikaisemmin koskivat toimintaa, koskevat nyt valvotuista lähteistä suunnitellussa altistustilanteessa tulevaa altistusta.

(18) Säteilysuojelu lääketieteessä koskee paitsi potilaita, myös henkilöitä, jotka altistuvat säteilylle hoivatessaan ja tukiessaan potilaita, ja vapaaehtoisia heidän osallistuessaan biolääketieteelliseen tutkimukseen. Näiden henkilöiden suojelu vaatii erityistä huomiota. ICRP on antanut suosituksia lääketieteellisen toiminnan säteilysuojelusta ja turvallisuudesta ohjeessa ICRP 73, ja niitä on edelleen kehitetty myöhemmissä ohjeissa. Niissä julkaisuissa annetut suositukset, ohjeet ja neuvot ovat voimassa ja ne on yhdistetty uusissa perussuosituksissa ja perussuosituksia tukevassa julkaisussa ICRP 105.

(19) Kun säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa suunnitellaan optimointia käyttämällä enimmäistasoja, huomio kiinnitetään suojelu-

toimenpiteiden jälkeisten annosten tasoihin. Näiden jäännösannosten tulee olla enimmäistasojen alapuolella. Säteilyvaaratilanteiden jälkeisiä tai vallitsevia altistustilanteita koskevan suojelun suunnittelussa ei pidä sallia enimmäistasoa suurempia kokonaisannoksia. Näissä tilanteissa voi olla useita altistusreittejä, jolloin suojelussa täytyy harkita monia erilaisia vastatoimenpiteitä. Optimaalisten vastatoimenpiteiden suunnittelussa käytetään kuitenkin kullakin toimenpiteellä vältettyä annosta edelleen yhtenä lähtökohtana.

(20) Säteilyvaaratilanteisiin liittyy valmiussuunnittelu ja toiminta säteilyvaaratilanteissa. Ennakolta tulee suunnitella optimaalisia suojelustrategioita, joilla altistusta vaaratilanteessa voidaan vähentää alle valittujen enimmäistasojen. Vaaratilanteen aikana voidaan enimmäistasojen avulla mitata suojelutoimenpiteiden tehokkuutta ja osoittaa mahdollisten lisätoimenpiteiden tarve.

(21) Vallitseviin altistustilanteisiin kuuluu altistuminen luonnon säteilylle ja altistuminen säteilylle, joka johtuu menneistä tapahtumista ja onnettomuuksista tai toiminnoista, joita ei ole valvottu nykyisten säteilysuojelusuositusten mukaisesti. Toteutettaessa säteilysuojelutoimia tällaisissa tilanteissa tarvitaan usein eri osapuolten vuorovaikutusta ja parannuksia tehdään asteittain useiden vuosien aikana. Eräs tärkeä esimerkki vallitsevasta altistustilanteesta on radon asuntojen ja työpaikkojen sisäilmassa. ICRP antoi siitä erillisen suosituksen vuonna 1994 julkaisussa ICRP 65. Sen jälkeen on radonaltistuksen aiheuttamat terveysriskit vahvistettu useissa epidemiologisissa tutkimuksissa, jotka myös yleisesti ottaen tukevat ICRP:n antamia suosituksia. ICRP suosittelee, että viranomaiset asettaisivat kansallisia enimmäistasoja radonaltistuksen rajoittamisen optimoimiseksi. Jatkuvuuden ja käytännöllisyyden vuoksi ICRP säilyttää enimmäistasona 10 mSv vuodessa (efektiivinen annos, vastaa asunnoissa radonpitoisuutta noin 600 Bq m⁻³), kuten ICRP 65:ssä suositeltiin. ICRP vahvistaa, että työssä aiheutuva radonaltistus tulisi ottaa huomioon osana työperäistä altistusta, mikäli se ylittää kansallisen enimmäistason. Kansallisten enimmäistasojen alittavaa altistusta ei tulisi laskea osaksi työperäistä altistusta, mutta sitäkin on optimoinnilla pyrittävä pienentämään.

(22) Uusissa suosituksissa tiedostetaan ympäristön säteilysuojelun tärkeys. ICRP on aikaisemmin ollut kiinnostunut ihmisten ympäristöstä vain radionuklidien kulkeutumisen kannalta ja pääasiassa suunniteltujen altistustilanteiden yhteydessä. Niiden tilanteiden suhteen ICRP ajattelee edelleenkin, että väestön suojelemiseksi tarvittava ympäristön valvonnan taso riittää suojelemaan muita eliölajeja. Jotta ympäristönsuojelulle saataisiin kaikkia altistustilanteita varten hyvin perustellut puitteet, ICRP ehdottaa tyyppieläinten ja

tyyppikasvien käyttöä altistuksen arvioimiseksi. Vertailemalla tyyppieliöiden arvioituja lisäännoksia annoksiin, joilla tiedetään olevan tiettyjä biologisia vaikutuksia, ja annoksiin, joita yleensä aiheutuu luonnonympäristössä, voidaan perustella tietyn altistumistason hyväksyttävyyttä. ICRP ei kuitenkaan ehdota minkäänlaisten annosrajojen asettamista ympäristön säteilysuojelulle.

1 Johdanto

ICRP on riippumaton kansainvälinen järjestö, joka ei tavoittele taloudellista voittoa. Se perustettiin vuonna 1928 kansainvälisessä radiologien kongressissa ja sai tuolloin nimekseen International X-Ray and Radium Protection Committee. Vuonna 1950 se sai nykyisen nimensä.

Ensimmäiset yleiset suositukset ICRP julkaisi vuonna 1928. Suositukset koskivat työntekijöiden suojelemista säteilyn lääketieteellisessä käytössä rajoittamalla heidän työaikojaan. Tämän rajoituksen arvioidaan tänä päivänä vastaavan yksilön efektiivistä annosta 1000 millisieverttiä (mSv) vuodessa. Varhaiset suositukset olivat luonteeltaan kvalitatiivisia, koska säteilyannosta ei vielä pystytty mittaamaan. Vuonna 1934 annetut suositukset sisälsivät turvallisen kynnsarvon, joka oli noin 10-kertainen nykyiseen työntekijän vuosiansosrajaan, 50 mSv, verrattuna. Kynnsarvo-ajattelu jatkui ja vuonna 1951 ICRP suosittelee rajaa, jonka voidaan arvioida vastanneen noin 3 mSv viikkoannosta matalan energiansiirtokyvyn säteilystä (esim. röntgensäteily). Vuoteen 1954 mennessä kynnsarvo-ajattelu jo kyseenalaistettiin, koska alettiin saada epidemiologista näyttöä ylimääräisistä syöpäsairauksista amerikkalaisten radiologien keskuudessa sekä viitteitä leukemian yleistymisestä Japanin atomipommituksesta selvinneiden joukossa.

Lisääntynyt sotilaallinen ja teollinen ydinenergian käyttö 1950-luvun alussa johti ICRP:n antamaan suosituksia myös väestön suojelemiseksi ionisoivalta säteilyltä. Vuoden 1957 suosituksissa annettiin annosrajat, jotka vastasivat säteilytyöntekijän ja väestön yksilön vuosiansosrajoja 50 mSv ja 5 mSv. Ottaen huomioon nykyisin tunnetut säteilyn myöhäisvaikutukset ja sen, ettei kynnsarvon olemassaoloa tämän tyyppisille terveysvaikutuksille voitu enää osoittaa, toimikunta suosittelee vuonna 1954 altistumisen rajoittamista ”kaiken tyyppiselle säteilylle mahdollisimman alhaiselle tasolle”. Myöhemmissä suosituksissa tätä optimointiperiaatteen ensimmäistä ilmaisua on muutettu muotoihin, joissa suositellaan altistumisen pitämistä ”niin pienenä kuin on käytännöllistä” (1959), ”niin pienenä kuin on helposti saavutettavissa” (1966), ja edelleen ”niin pienenä kuin on järkevästi saavutettavissa, ottaen huomioon taloudelliset ja yhteiskunnalliset näkökohdat” (1973).

Julkaisussaan ICRP 26 vuodelta 1977 ICRP ensimmäistä kertaa määritteli säteilyn myöhäisvaikutusten riskit yhdessä oikeutusperiaatteen, optimointiperiaatteen ja yksilön annosrajoitusperiaatteen kanssa. Vuonna 1990 toimikunta teki suositustensa perusuudistuksen julkaisussaan ICRP 60 osittain sen vuoksi, että säteilyn terveysvaikutuksia koskevat riskiarviot olivat nousseet, ja osittain laajentaakseen säteilyannosten rajoittamisperiaatteen yleisemmäksi säteilysuojelujärjestelmäksi. Oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaatteet

säilyivät, mutta käyttöön otettiin säteilytoiminnan ja intervention käsitteet erottamaan erityyppiset altistustilanteet. Lisäksi pantiin enemmän painoa optimointiperiaatteeeseen ottamalla käyttöön annosrajoitukset, jotta taloudellisista ja yhteiskunnallisista arvioinneista mahdollisesti aiheutuvia epäoikeudenmukaisuuksia voidaan rajoittaa. Työntekijöiden 50 mSv vuosiannosraja säilyi yksittäiselle vuodelle, mutta keskimääräinen vuosiannos viiden vuoden aikana pienennettiin 20 millisievertiin vuodessa. Syynä tähän oli Hiroshiman ja Nagasakin atomipommituksissa eloonjääneiden seuranta tutkimuksiin perustuva säteilyn myöhäisvaikutusten riskien uudelleenarviointi. Vastaavasti väestön yksilön annosraja pienennettiin viidestä millisievertistä vuodessa yhteen millisievertiin vuodessa, kuitenkin niin, että erityisolosuhteissa yksittäisenä vuotena voidaan sallia suurempi annos, kunhan viiden vuoden aikana keskimääräinen vuosiannos ei ylitä 1 mSv.

Vuoden 1990 jälkeen ICRP on antanut julkaisuissaan noin 30 erilaista numeerista arvoa yksilöannoksen rajoittamiseksi eri olosuhteissa. Näitä numeerisia arvoja on perusteltu usealla eri tavalla. Lisäksi toimikunta on aloittanut menettelytapaohjeiden kehittämisen ympäristön suojelemiseksi säteilyltä (ICRP 91).

ICRP:n kattava kirjallisuusselvitys säteilyn terveydellisistä vaikutuksista ei ole antanut aihetta mihinkään perusteellisiin muutoksiin säteilysuojelujärjestelmässä. Uudet perussuositukset merkitsevätkin enemmän jatkuvuutta kuin muutosta. Eräät suositukset säilyvät entisellään, koska ne toimivat ja ovat selkeitä, toisia taas on päivitetty, koska tietämys on lisääntynyt. Joitakin asioita on lisätty täyttämään selviä aukkoja, ja joitakin käsitteitä on selitetty paremmin, koska lisää ohjeistusta on kaivattu. Uudet suositukset toistavat ja vahvistavat optimoinnin merkitystä säteilysuojelussa ja laajentavat sen menestyksellistä soveltamista säteilytoiminnoista (jotka nyt sisältyvät suunniteltuihin altistustilanteisiin) muihin säteilytilanteisiin, eli säteilyvaaratilanteisiin ja vallitseviin altistustilanteisiin.

ICRP:n perimmäisenä tavoitteena on ollut ihmisen suojeleminen säteilyn haittavaikutuksilta. Se on kuitenkin jo aikaisemminkin tarkastellut säteilyn mahdollisia vaikutuksia myös muihin eliölajeihin, vaikka se ei ole antanutkaan yleisiä lausuntoja ympäristön suojelemisesta kokonaisuutena. Vuoden 1990 perussuosituksissaan toimikunta ilmoitti käsittelevänsä ihmisen elinympäristöä vain kun kyseessä on radionuklidien kulkeutuminen ympäristössä, koska sillä on suora yhteys ihmisen säteilysuojeluun. Toimikunta ilmoittikin kantanaan, että sellaiset ympäristön valvontastandardit, jotka katsottiin välttämättömiksi ihmisten suojelemiseksi, takasivat sen että myös muut lajit olivat riittävästi suojeltuja. ICRP uskoo edelleenkin, että tämä pätee yleisellä tasolla suunnitelluissa altistustilanteissa ja että ihmisen elinpiirille tarjotaan näin

suhteellisen korkea suojelutaso. On kuitenkin olemassa elinympäristöjä, joissa ihminen ei ole läsnä ja joihin ei sovelleta toimikunnan suosituksia ihmisen suojelemiseksi. Lisäksi ympäristövaikutukset pitää ottaa huomioon kaikissa altistustilanteissa, eikä vain suunnitelluissa. ICRP ilmoittaa olevansa myös tietoinen eräiden kansallisten viranomaisten tarpeista osoittaa selkeästi, että ympäristö on suojeltu suunnitelluissa altistustilanteissa. Sen vuoksi se uskoo, että tarvitaan selkeämmät puitteet, jotta voidaan tieteelliseltä pohjalta arvioida säteilyaltistuksen suhdetta annokseen, annoksen suhdetta vaikutukseen, ja näiden vaikutusten seurauksia myös muihin eliölajeihin kuin ihmiseen. Tätä käsitellään tarkemmin luvussa 8.

ICRP:n ohjeet on tarkoitettu etupäässä valvontaviranomaisille, organisaatioille ja henkilöille, jotka ovat vastuussa säteilysuojelusta. Sen suositukset ovat tarjonneet yhtenäisen perustan kansallisille ja alueellisille valvontastandardeille. ICRP julkaisee suosituksia asianmukaisen säteilysuojelun järjestämiseksi. Se ei pyri säädöstekstien antamiseen, mutta säädösten pitäisi olla sopu- soinnussa suositusten kanssa.

ICRP:n suositukset rajoittuvat suojeluun ionisoivaa säteilyä vastaan. Myös ionisoimattoman säteilyn asianmukainen valvonta on tärkeää. Kansainvälinen ionisoimattoman säteilyn toimikunta (ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) valmistelee tällaisia ionisoimattoman säteilyn lähteitä koskevia suosituksia.

Säteilysuojelussa käytettävät suuret ja niiden yksiköt ovat kehittyneet vuosien varrella. Ensimmäisen säteilyannoksen yksikön, röntgen (R), kehitti vuonna 1928 Kansainvälinen röntgen-yksikön toimikunta, josta myöhemmin kehittyi Kansainvälinen säteily-yksiköiden ja -mittausten toimikunta (ICRU). Suuretta *annos* yhdessä röntgen-yksikön määritelmän kanssa käytettiin ensimmäisen kerran virallisesti vuonna 1937 ICRU:n suosituksissa. ICRU ehdotti suuretta *absorboitunut annos* ja määritteli sen virallisesti vuonna 1953 koskemaan absorboitunutta annosta eräisiin muihin väliaineisiin kuin ilma. Sen yksiköksi määriteltiin *rad*.

Ensimmäinen annossuure, joka otti huomioon eri säteilylajien suhteellisen biologisen tehokkuuden, oli ICRU:n määrittelemä RBE-*annos* (relative biological effectiveness) ja sen yksikkö oli *rem*. Se oli suhteellisilla säteilylajien laatu- ker- toimilla painotettu absorboituneiden annosten summa säteilyn kohde-elimessä. Myöhemmin vuonna 1962 tämä annossuure korvattiin *ekvivalenttiannoksen* käsitteellä, joka määriteltiin absorboituneen annoksen, säteilyn laatu- tekijän, annoksen jakautumaa kuvaavan tekijän ja muiden välttämättömien muun- to- tekijöiden tulona. Yksikkö *rem* säilytettiin ekvivalenttiannoksen yksikkönä.

Vuoden 1977 suosituksissaan ICRP otti käyttöön uuden annossuureen kuvaamaan säteilyn myöhäisvaikutusten riskiä. Toimikunta nimesi tämän

suureen *efektiiviseksi annosekvivalentiksi* ja se määriteltiin eri elimien ja kudosten ekvivalenttiannosten painotettuna summana, painokertoimina kudosten ja elimien suhteelliset herkkyudet säteilylle. Samalla otettiin käyttöön annosten SI-yksiköt *gray* (Gy), joka korvasi rad -yksikön, ja *sievert* (Sv), joka korvasi rem -yksikön.

Vuoden 1990 suosituksissaan ICRP määritteli uudelleen nämä ihmiskehoon liittyvät annossuureet. Säteilysuojelumielessä kudoksen tai elimen keskimääräinen absorboitunut annos määriteltiin perussuureeksi. Lisäksi, ottaen huomioon että säteilyn biologiset vaikutukset eivät riippuneet yksinomaan säteilyn energiansiirtokyvystä, toimikunta päätti ottaa käyttöön säteilyn painokertoimet (radiation weighting factors), jotka perustuivat aikaisemmin käytettyihin säteilylajien suhteellisiin biologisiin tehokkuuksiin. Erotukseksi aikaisemmin käytetystä annosekvivalentista toimikunta antoi tälle annossuureelle nimen ekvivalenttiannos. Vastaavasti efektiivinen annosekvivalentti nimettiin nyt efektiiviseksi annokseksi, jonka laskemisessa käytetyt kudosten painokertoimet muuttuivat hieman säteilyn terveysvaikutuksista saadun uuden tiedon johdosta. Nykyisiä säteilyn dosimetrisiä suureita ja niiden yksiköitä käsitellään tarkemmin luvussa 4.

Tämän raportin luku 2 käsittelee ICRP:n suositusten tavoitteita ja soveltamisaluetta. Luku 3 käsittelee säteilyn biologisia näkökohtia ja luku 4 säteilysuojelussa käytettäviä suureita ja niiden yksiköitä. Luvussa 5 kuvataan itse säteilysuojelujärjestelmää ja luku 6 käsittelee ICRP:n suositusten soveltamista kolmeen erityyppiseen altistustilanteeseen. Luvussa 7 keskitytään potilaiden lääketieteelliseen säteilyaltistukseen ja luvussa 8 käsitellään ympäristön suojelemista säteilyltä.

Tämä raportti on suomenkielinen lyhennelmä ICRP:n uusia perussuosituksia koskevasta julkaisusta ICRP 103. Raporttiin ei ole otettu mukaan ICRP:n julkaisun sisältämiä liitteitä A ja B, jotka sisältävät yksityiskohtaista biologista ja epidemiologista tietoa ionisoivan säteilyn aiheuttamista terveysriskeistä (Liite A) ja säteilysuojelussa käytettävistä suureista ja yksiköistä (Liite B). Raporttiin ei myöskään ole otettu viitteitä ICRP:n käyttämiin alkuperäisjulkaisuihin, ja tämän vuoksi raportin toimituskunta suosittelee niistä kiinnostuneita käyttämään alkuperäisjulkaisua ICRP 103.

2 Suositusten tarkoitus ja soveltamisala

2.1 Suositusten tarkoitus

ICRP:n suositusten perimmäisenä tarkoituksena on edistää ihmisten ja ympäristön suojelemista säteilyn haitallisilta vaikutuksilta asiamukaisella tasolla rajoittamatta kuitenkaan tarpeettomasti ihmisille hyödyllisiä säteilytoimintoja. Tätä tavoitetta ei voida saavuttaa pelkästään säteilyaltistukseen ja sen terveysvaikutuksiin liittyvän tieteellisen tiedon pohjalta. ICRP:n suositukset perustuvat paitsi tieteelliseen tietoon, myös asiantuntijaharkintaan. Tieteellinen tieto, esimerkiksi säteilyaltistuksen terveysriskeistä, on välttämätön ennakkopedellytys, mutta suojelun yhteiskunnalliset ja taloudelliset näkökohdat tulee myös ottaa huomioon. Säteilysuojelun parissa työskentelevien tulee tehdä arvoharkintaa erilaisten riskien suhteellisesta merkityksestä ja toisaalta riskien ja hyötyjen tasapainottamisesta. Tässä mielessä säteilysuojelu ei poikkea muiden alojen riskien valvonnasta. Tieteellisen arvioinnin ja arvoharkinnan perusteet ja myös erot niiden välillä pitäisi kuitenkin tehdä selviksi aina kun se on mahdollista, jotta läpinäkyvyys ja ymmärrys siitä, miten tiettyihin päätöksiin on päädytty, lisääntyy.

Säteilysuojelu koskee kahden tyyppisiä haittavaikutuksia. Suuret säteilyannokset aiheuttavat suoria, deterministisiä, terveyshaittoja (haitalliset kudoksetreaktiot), jotka ovat usein äkillisiä ja ilmenevät kun annos ylittää tietyn kynnyksarvon. Sekä suuret että pienet säteilyannokset voivat aiheuttaa satunnaisia, stokastisia, terveyshaittoja (syöpäkasvain tai perinnöllinen vaikutus), jotka voidaan havaita tilastollisena nousuna niiden esiintymisessä pitkän ajan kuluessa.

Säteilysuojelu pyrkii ensisijaisesti ihmisen terveyden suojelemiseen. Terveyttä koskevat tavoitteet ovat suhteellisen suoraviivaisia; hallitaan ja valvotaan altistumista ionisoivalle säteilylle niin, että suorat terveyshaitat estetään ja satunnaisten terveyshaittojen riski pidetään niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Sen sijaan ei ole olemassa yhtä yksinkertaista ja yleismaailmallista määritelmää ympäristön suojelemiselle ja käsitys siitä vaihtelee maasta toiseen ja olosuhteesta toiseen. Toisenlaiset lähestymistavat ovat sen vuoksi todennäköisesti käyttökelpoisempia muulle eliöstölle kuin ihmiselle – kuten varhaisempi kuolleisuus, sairastuneisuus tai vähentynyt lisääntymiskyky. ICRP:n tavoitteena on rajoittaa vakavien säteilyvaikutusten ilmaantuvuus sellaiselle tasolle, jolla niiden vaikutus biologiseen monimuotoisuuteen, lajien säilymiseen ja luontaisten elinympäristöjen, eliökuntien ja ekosysteemien terveyteen ja tilaan on merkityksetön. Pyrkinessään tähän päämäärään ICRP kuitenkin toteaa, että altistuminen säteilylle on vain

yksi tekijä, joka pitää ottaa huomioon ympäristön suojelussa, ja usein myös todennäköisesti pieni tekijä. ICRP antaa ohjeita sen varmistamiseksi, että sen lähestymistapa on riskien suhteen yhteismitallinen ja yhteensopiva niiden ponnistusten kanssa, joita tehdään ympäristön suojelemiseksi muilta ihmisen toiminnoilta.

2.2 Säteilysuojelun perusta ja rakenne

Säteilysuojelu pyrkii yhdenmukaisiin menettelytapoihin erilaisissa altistus-tilanteissa. Koska altistustilanteet vaihtelevat, ICRP on kehittänyt muodollisen säteilysuojelujärjestelmän kannustaakseen käyttökelpoiseen ja jäsenyyneeseen lähestymistapaan säteilysuojelussa. Järjestelmän on kyettävä käsittelemään monenlaisia säteilyaltistuksen lähteitä, joista osa on jo olemassa, toisia voidaan ottaa käyttöön yhteiskunnan valintoina, ja toiset syntyvät onnettomuuksien seurauksena. Nämä lähteet liittyvät monenlaisiin tapahtumiin ja tilanteisiin, jotka johtavat yksilöiden, väestöryhmien tai koko väestön altistumiseen säteilylle nyt tai tulevaisuudessa. Säteilysuojelujärjestelmä on kehitetty niin, että se mahdollistaa tämän moninaisen altistusverkoston käsittelyn loogisella tavalla.

Ihmisten suojelu perustuu tietoon, joka on saatu käyttämällä a) ihmistä kuvaavia anatomisia ja fysiologisia vertailumalleja annosten arvioinnissa, b) molekyyli- ja solutasen tutkimustuloksia, c) eläintutkimusten tuloksia, ja d) epidemiologia tutkimustuloksia. Mallien käyttö on johtanut taulukoituun tietoon kehoon joutuneiden eri radionuklidien aiheuttamasta sisäisestä annoskertymästä ja työntekijöille, potilaille ja väestölle ulkoisesta säteilystä aiheutuva annoksesta. Epidemiologiset ja kokeelliset tutkimukset ovat puolestaan johtaneet ulkoisesta ja sisäisestä säteilystä aiheutuvaan altistukseen liittyviin riskiarvioihin. Epidemiologisten tutkimusten tulokset ja tutkimukset eläinten ja ihmisten genetiikasta ovat olleet ICRP:n lähtökohtina säteilyn aiheuttamalle syöväälle ja perinnöllisille vaikutuksille. Niitä on täydennetty tiedolla, jota on saatu syövän synnyn ja perinnöllisyyden mekanismeista pienten säteilyannosten riskin arvioimiseksi.

Ottaen huomioon sen epävarmuuden, joka liittyy kudosten painokertoimien arvoihin ja haitan arviointiin, ICRP pitää säteilysuojelun tavoitteiden kannalta tarkoituksenmukaisena käyttää ikä- ja sukupuolitasoitettuja kudosten painokertoimia ja numeerisia riskiarvioita. Säteilysuojelujärjestelmä on riittävän vankka takaamaan hyväksyttävän suojelun molemmille sukupuolille. Lisäksi järjestelmä poistaa tarpeen asettaa sellaisia sukupuoli- ja ikäspesifisiä säteilysuojelukriteerejä, jotka voisivat osoittautua tarpeettoman syrjiviksi. Kuitenkin takautuvia säteilyyn liittyviä riskiarvioita, kuten epidemiologisia

tutkimuksia varten on tarkoituksenmukaista käyttää sukupuoli- ja ikäkohtaista aineistoa ja laskea sukupuoli- ja ikäkohtaisia riskejä.

ICRP:n riskiarviot ovat nimellisiä, koska ne liittyvät tyypillisen ikä- ja kauman omaavista naisista ja miehistä koostuvan nimellisen väestön säteilyaltistukseen ja ne on laskettu eri ikäryhmien ja molempien sukupuolien keskiarvoina. Dosimetrinen suure efektiivinen annos on myös laskettu ikäryhmien ja sukupuolten keskiarvona. Efektiivisen annoksen arvioinnissa käytettävien tekijöiden määritelmiin kuuluu luonnostaan useita epävarmuuksia. Kuolemantapaus- ja haittakerroinarviot sopivat säteilysuojelutarkoituksiin, mutta kuten kaikissa epidemiologiaan perustuvissa arvioissa, nimellisiä riskikertoimia ei voida käyttää kun kyse on yksittäisistä ihmisistä. Arvioitaessa todennäköisiä seurauksia yksittäiselle henkilölle tai tietylle väestöryhmälle on välttämätöntä käyttää altistuneeseen henkilöön tai henkilöihin liittyviä erityistietoja.

Tilanteissa, joissa säteilyn suorien (determinististen) vaikutusten raja-arvot voivat ylittyä, pitäisi toteuttaa suojelutoimenpiteitä lähes kaikissa olosuhteissa, kuten ICRP on jo aikaisemminkin suositellut. On viisasta ottaa huomioon välittömien terveysvaikutusten raja-arvoihin liittyvät epävarmuudet erityisesti pitkäkestoisissa altistustilanteissa. Tästä seuraa, että efektiivisten vuosiannoston lähestyessä 100 mSv:ä, suojelutoimenpiteet ovat lähes aina oikeutettuja.

Säteilyannoksilla, jotka ovat alle 100 mSv vuodessa, satunnaisten (stokastisten) terveysvaikutusten lisäyksen arvioidaan olevan pieni ja suoraan verrannollinen säteilyannoksen nousuun. ICRP katsoo tämän ns. lineaarisen kynnyksettömän mallin (LNT-malli) olevan paras käytännön lähestymistapa säteilyriskien hallinnassa ja yhteensopiva YK:n kasvatus-, tiede- ja kulttuurijärjestö UNESCO:n varovaisuusperiaatteen kanssa (UNESCO 2005). ICRP katsoo myös, että LNT-malli on järkevä perusta säteilysuojelulle pienillä annoksilla ja annosnopeuksilla.

Jopa yksittäisessä altistustilanteessa yksilö voi altistua usealle eri säteilylähteelle, joten on pyrittävä arvioimaan hänen kokonaisaltistustaan. Tätä arviointia kutsutaan yksilökohtaiseksi arvioinniksi. Toisaalta on myös välttämätöntä tarkastella kaikkien yksilöiden altistumista yhdestä lähteestä tai lähteiden ryhmästä peräisin olevalle säteilylle. Tätä menettelyä kutsutaan lähdekohtaiseksi arvioinniksi. ICRP korostaa lähdekohtaisten arviointien tärkeyttä, koska toimenpiteet voidaan kohdistaa säteilyn lähteeseen sen varmistamiseksi, että yksilöt ovat suojattuja kyseisestä lähteestä aiheutuvalta säteilyltä.

Satunnaisten terveysvaikutusten todennäköisyys-luonteen ja LNT-mallin ominaisuuksien vuoksi on mahdotonta tehdä selvää eroa turvallisen ja vaarallisen välillä. Tämä aiheuttaa joitakin vaikeuksia selitettäessä säteilyriskien

hallintaa. Pääasiallinen seuraus LNT-mallista on, että säteilyaltistukseen liittyy aina jokin riski, vaikkakin pieni, ja säteilysuojelu pitää toteuttaa riskitasolla, jota pidetään hyväksyttävänä. Tämä on johtanut säteilysuojelun kolmeen perusperiaatteeseen:

- oikeutukseen
- optimointiin ja
- yksilönsuojaan (annosrajojen soveltamiseen).

Näitä periaatteita käsitellään tarkemmin luvussa 5. Suojeltaessa ihmisiä säteilyn haitallisilta vaikutuksilta säteilyannosten valvonta (niiden rajoittamisen mielessä) on ratkaisevaa, riippumatta säteilyn lähteestä.

Säteilysuojelun pääasialliset komponentit voidaan luetella seuraavasti:

- Mahdollisten altistustilanteiden luonnehdinta (suunniteltu altistustilanne, säteilyvaaratilanne ja vallitseva altistustilanne).
- Altistustyyppien luokittelu (varmuudella toteutuvat ja mahdolliset altistukset, työperäinen altistus, potilaiden lääketieteellinen altistus ja väestöaltistus).
- Altistuvien henkilöiden tunnistaminen (työntekijät, potilaat ja väestöä edustavat yksilöt).
- Altistusarvioinnin luokittelu, eli onko arviointi lähdekohtainen vai yksilöaltistukseen perustuva.
- Tarkka säteilysuojeluperiaatteiden muotoilu: oikeutus, optimointi ja annosrajojen soveltaminen.
- Sellaisten yksilöannosten kuvaus, jotka edellyttävät suojelutoimenpiteitä (annosrajat, annosrajoitukset, ja enimmäistasot).
- Säteilylähteiden turvallisuutta varmistavien olosuhteiden kuvaus, johon kuuluu myös turvajärjestelyt ja vaatimukset valmiustoimenpiteiksi säteilyvaaratilanteiden varalle.

Näissä suosituksissa kuvatus säteilysuojelun toimeenpanoa pitäisi seurata ja arvioida. Säännölliset katselmukset ovat tärkeitä kokemuksesta oppimisen kannalta ja korjaavien toimenpiteiden tunnistamiseksi.

ICRP korostaa optimoinnin merkitystä riippumatta säteilylähteen tyypistä, altistustilanteesta tai altistuvista henkilöistä. Optimoinnissa sovelletaan lähdekohtaisia annos- ja riskirajoituksia. Periaatteessa sellaiset suojeluvaihtoehdot, jotka johtavat näitä rajoituksia suurempiin annoksiin, pitäisi hylätä. ICRP on aikaisemmin käyttänyt termiä *annosrajoitus* (dose constraint) näille säteilytoimintojen rajoituksille. Yhdenmukaisuuden vuoksi ICRP jatkaa tämän termin käyttöä suunnitelluille altistustilanteille, koska tällaiset tilanteet

pitävät sisällään normaalit säteilytoiminnot. ICRP on havainnut, että constraint-termiä on tulkittu monissa maissa (kielissä) ehdottomana rajana. Tämä ei ole ollut ICRP:n tarkoitus, sillä annos- ja riskirajoitusten käyttö riippuu paikallisista olosuhteista.

Suojelun tasot voidaan valita joko ICRP:n yleisten suositusten perusteella (ks. taulukko VIII luvussa 6) tai perustuen parhaaseen olemassa olevaan käytäntöön. Joissakin erityisolosuhteissa, erityisesti säteilyvaaratilanteessa tai vallitsevassa säteilytilanteessa, voi olla että mikään käyttökelpoinen suojeluvaihtoehto ei täytä sitä suojelun tasoa, joka vastaisi yleisiä annos- ja riskirajoituksia. Näin ollen rajoitusten tulkitseminen tinkimättömästi annosrajoina voi vakavasti vääristää optimointiprosessin tulosta. Tämän vuoksi ICRP ehdottaa säteilyvaaratilanteille ja vallitseville altistustilanteille käytettäväksi termiä *enimmäistaso* (reference level) annoksen tai riskin rajoittamiseksi. Tätä tasoa suurempia altistuksia ei tulisi sallia, ja toisaalta tämän tason alapuolella suojelua pitäisi vielä optimoida. ICRP haluaa kuitenkin korostaa, että nimitysten erilaisuudesta huolimatta (eli annosrajoitus ja enimmäistaso) suojelun soveltamisessa suunniteltuihin altistustilanteisiin ja näihin kahteen muuhun altistustilanteeseen ei ole oleellisia eroja. Luvussa 6 annetaan lisäohjeita optimointiperiaatteen soveltamisesta suunnitelluissa altistustilanteissa, säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa.

2.3 Suositusten soveltamisala

ICRP:n säteilysuojelujärjestelmä soveltuu kaikkeen säteilyaltistukseen mistä tahansa säteilylähteestä riippumatta lähteen koosta ja alkuperästä. Termiä *säteily* käytetään tarkoittamaan ionisoivaa säteilyä. ICRP on käyttänyt termiä *säteilyaltistus* (tai lyhyesti altistus) yleisessä mielessä tarkoittamaan prosessia, jossa altistutaan säteilylle tai radionuklideille. Altistuksen merkittävyyden määrää siitä aiheutuva säteilyannos. Termiä *lähde* käytetään osoittamaan altistuksen syytä, eikä välttämättä fysikaalista säteilylähdettä (ks. luku 5.1). Suositusten soveltamistarkoituksessa lähde on kokonaisuus, johon säteilysuojelun optimointia sovelletaan.

ICRP on pyrkinyt tekemään suosituksistaan soveltamiskelpoisia niin laajasti ja yhdenmukaisesti kuin mahdollista. Erityisesti suositukset kattavat sekä luonnon että keinotekoiset säteilyn lähteet. Suosituksia voidaan soveltaa kokonaisuudessaan vain tilanteisiin, joissa joko altistuksen lähde tai säteilyannosta aiheuttavat altistusreitit ovat jollakin järkevällä tavalla valvottavissa. Tällaisissa tilanteissa lähteitä kutsutaan valvottavissa oleviksi lähteiksi.

ICRP on aikaisemmin tehnyt eron säteilyannoksia lisäävien toimintojen (practices) ja säteilyannoksia pienentävien interventoiden välillä. Nyt ICRP

käyttää tilanneperusteista lähestymistapaa luonnehtimaan mahdollisia tilanteita, joissa säteilyaltistus tapahtuu joko suunniteltuna, säteilyvaaratilanteessa, tai vallitsevassa altistustilanteessa. Samoja perusperiaatteita sovelletaan kaikkiin näihin tilanteisiin (ks. luku 5.6). Termiä *toiminta* (tai säteilytoiminta) on kuitenkin käytetty laajasti säteilysuojelussa, ja ICRP jatkaa tämän termin käyttöä tarkoittamaan toimintaa, joka lisää säteilyaltistusta tai riskiä altistua säteilylle. Säteilytoimintoja voivat olla esim. liiketoiminta, kauppa, teollisuus tai muu tuotantotoiminta. Toiminnalle on luonteenomaista, että siitä aiheutuvia tai sen ylläpitämiä säteilyannoksia voidaan kontrolloida suoraan lähteeseen kohdistuvilla toimenpiteillä.

Myös termiä *interventio* on käytetty laajasti säteilysuojelussa ja se on sisällytetty kansallisiin ja kansainvälisiin standardeihin kuvaamaan tilanteita, joissa tarvitaan toimenpiteitä altistuksen pienentämiseksi. ICRP katsoo, että on tarkoituksenmukaisempaa rajoittaa tämän termin käyttö kuvaamaan altistusta pienentäviä toimenpiteitä, kun taas termejä *säteilyvaaratilanne* ja *vallitseva altistustilanne* käytetään kuvaamaan säteilytilanteita, joissa tällaisia säteilyaltistusta pienentäviä suojelutoimenpiteitä tarvitaan.

2.4 Rajaus ja valvonnasta vapauttaminen

Se että ICRP:n suositukset soveltuvat mille säteilytasolle tahansa ja kaiken tyyppiseen säteilyaltistukseen, ei tarkoita, että kaikkia säteilyaltistuksia, kaikkia säteilylähteitä tai kaikkia inhimillisiä toimintoja voitaisiin tai tarvitsisi kohdella yhtäläisesti, kun luodaan oikeudellisia valvontajärjestelmiä. Sen sijaan valvontavaroitteen taso pitää arvioida sen mukaan, miten lähde tai altistustilanne soveltuu valvontaan, ja mikä on niistä aiheutuva altistus tai riski.

On olemassa kaksi erillistä käsitettä, jotka rajaavat säteilysuojelullisen valvonnan ulottuvuutta. Näitä ovat:

1. tiettyjen altistustilanteiden sulkeminen kokonaan säteilysuojelulainsäädännön ulkopuolelle (*rajaus*, exclusion) yleensä sen perusteella, että ne eivät sovellu valvottaviksi säätelymekanismeilla (ei voida valvoa), ja
2. sellaisten altistustilanteiden vapauttaminen joko osittain tai kokonaan valvonnasta (*valvonnasta vapauttaminen*, exemption), joiden valvontaa pidetään tarpeettomana usein sillä perusteella, että valvonnan vaatimia ponnistuksia pidetään kohtuuttomina tilanteeseen liittyviin riskeihin nähden (ei tarvitse valvoa).

Säteilylainsäädännön pitäisi siis ensin määritellä, mikä kuuluu lainsäädännön piiriin ja mikä jätetään sen ulkopuolelle. Toiseksi lainsäädännön tulisi antaa valvovalle viranomaiselle valtuudet vapauttaa altistustilanteita tietyistä

valvontavaatimuksista, esim. ilmoitusvelvollisuudesta tai altistusarvioiden tekemisestä ja tarkastuksista. Ero rajauksen ja valvonnasta vapauttamisen välillä ei ole ehdoton ja yksiselitteinen; valvontaviranomaiset eri maissa voivat tehdä erilaisia päätöksiä sen suhteen kuuluuko lähde tai altistus lainsäädännön piiriin vai sovelletaanko siihen valvonnasta vapauttamista.

Säteilylainsäädännön ulkopuolelle jätettävät altistustilanteet ovat sellaisia, joita ei voi valvoa tai jotka eivät sovellu valvottaviksi riippumatta niiden suuruudesta. Ei-valvottavat altistukset ovat sellaisia, joita ei voi rajoittaa valvontatoimenpiteillä missään kuviteltavissa olevissa tilanteissa, kuten esim. kehossa olevan kalium-40:n aiheuttama säteilyaltistus ja kosmisen säteilyn aiheuttama altistus maan pinnalla. Päätös siitä, milloin altistus ei sovellu valvottavaksi, edellyttää lainsäätäjän harkintaa, ja siihen puolestaan voivat vaikuttaa myös kulttuuriset seikat. Esimerkiksi kansalliset asenteet luonnon radioaktiivisten aineiden aiheuttaman säteilyaltistuksen valvomiseen vaihtelevat suuresti. Lisäohjeistusta rajauksen ja valvonnasta vapauttamisen soveltamisesta annetaan ICRP:n julkaisussa ICRP 104.

3 Säteilysuojelun biologiset näkökohdat

Suurin osa säteilyn haitallisista terveysvaikutuksista voidaan jakaa kahteen ryhmään:

- Suorat (deterministiset) vaikutukset eli haitalliset kudokset, jotka johtuvat suurten annosten aiheuttamista solukuolemista tai solujen toiminnan häiriöistä.
- Satunnaiset (stokastiset) vaikutukset eli syöpä ja perinnölliset vaikutukset. Syöpäkasvaimet johtuvat altistuneiden henkilöiden somaattisten solujen mutaatiosta. Perinnölliset sairaudet ilmaantuvat altistuneiden henkilöiden sukusolujen mutaatioiden vuoksi heidän jälkeläisissään.

Tässä luvussa käsitellään myös alkioon ja sikiöön kohdistuvia vaikutuksia sekä muita sairauksia kuin syöpää.

ICRP on käyttänyt termejä suorat (deterministiset) ja satunnaiset (stokastiset) vaikutukset. Termit eivät kuitenkaan ole aina olleet täysin selviä säteilysuojelualan ulkopuolisille henkilöille. Nyt ICRP käyttää yhteydestä riippuen myös kuvailevia termejä kudokset sekä syöpä ja perinnölliset vaikutukset. Eräitä säteilyyn liittyviä terveysvaikutuksia, erityisesti muiden sairauksien kuin syövän syntymistä, ei vielä ymmärretä riittävästi kumpaankaan ryhmään luokittelua varten.

Tässä luvussa esitetään ICRP:n nykyinen käsitys säteilyn biologisista vaikutuksista. Painopiste on pienissä annoksissa, noin 100 mSv:n efektiiviseen annokseen asti (tai 100 mGy:n absorboitunut annos pienen energiansiirtokyvyn (LET) omaavaa säteilyä) saatuna joko kerta-annoksena tai vuosittaisena kertymänä. ICRP 103:n liitteessä A käsitellään tarkemmin tämän luvun perustana olevaa biologista ja epidemiologista informaatiota ja siitä tehtyjä päätelmiä.

3.1 Suorat (deterministiset) vaikutukset

Kudosvaurioiden syntymisellä on yleensä kynnysannos, koska säteilyn aiheuttaman vaurion (solun vakava toimintahäiriö tai kuolema) täytyy tapahtua riittävän monessa tietyn kudoksen solussa ennen kuin vaurio on kliinisesti havaittavissa. Kynnysannoksen yläpuolella annoksen kasvaessa vaurion vakavuus kasvaa ja kudoksen toipumiskyky heikkenee.

Kun absorboitunut annos on noin 100 mGy tai sitä pienempi, säteilyn energiansiirtokyvystä riippumatta, mihinkään kudoksiin ei näytä syntyvän kliinisesti merkittäviä muutoksia. Tämä johtopäätös pätee sekä yksittäisille äkillisille annoksille että tilanteille, joissa altistuminen pienille annoksille jatkuu vuosikausia.

Nykyisen tiedon perusteella ICRP päättelee, että ICRP 60:ssa olevat säteilyöntekijöitä ja väestöä koskevat annosrajat, mukaan lukien ekvivalenttiansosrajat iholle, käsille ja jaloille sekä silmille, ovat edelleen riittävät determinististen vaikutusten (kudosreaktioiden) estämiseksi (katso luku 5.10 ja taulukko VI). Silmien säteilyherkkyyttä koskevaa uutta tietoa on kuitenkin odotettavissa ja ICRP ottaa siihen kantaa sitten kun se on käytettävissä.

3.2 Satunnaiset (stokastiset) vaikutukset

Epidemiologisilla ja kokeellisilla tutkimuksilla on saatu todisteita säteilyn aiheuttamasta syöpäriskistä noin 100 mSv:n suuruisilla ja sitä pienemmilläkin annoksilla. Ihmisten perinnöllisten sairauksien kohdalla suoria todisteita säteilyn aiheuttamasta riskistä ei ole, mutta kokeelliset tulokset osoittavat vakuuttavasti, että tuleviin sukupolviin kohdistuvat riskit tulee ottaa säteily-suojelussa huomioon.

3.2.1 Syöpäriski

Solu- ja eläinkokeista saatu tieto säteilyn aiheuttamista syöpäkasvaimista on vahvistanut käsitystä siitä, että yksittäisissä soluissa tapahtuvat DNA-vaurion vasteeseen liittyvät prosessit ovat ratkaisevan tärkeitä syövän synnyssä. Myös yleinen tieto syövästä lisääntyy jatkuvasti. Yksityiskohtaisen informaation DNA-vaurion vaste-/korjausmekanismeista ja geeni-/kromosomimutaatioiden syntymisestä uskotaan auttavan pienten säteilyannosten aiheuttaman syöpäriskin arvioinnissa. Tällä tiedolla on merkitystä myös suhteellisen biologisen tehokkuuden (RBE), säteilyn painotuskertoimen (w_R) ja annos ja annosnopeuden vaikutustekijän (DDREF) lukuarvojen määrittämisessä.

Käytännön säteilysuojelua varten on tieteellisesti uskottavaa olettaa, että pienillä annoksilla (alle 100 mSv) syöpätapausten ja perinnöllisten vaikutusten määrän kasvu on suoraan verrannollinen kyseessä olevalle kudokselle tai elimelle aiheutuneen ekvivalenttiansoksen kasvuun. Tämä päätelmä perustuu olennaisista soluprosesseista saatuihin todisteisiin ja annos-vaste tietoihin.

Tämä annos-vastemalli on yleisesti tunnettu lineaarisena kynnyksettömänä mallina (LNT). ICRP on sitä mieltä, että LNT-malli käytettynä yhdessä päättelyn perusteella valitun DDREF-arvon kanssa antaa järkevän perustan säteilysuojelun käytännön tarkoituksiin, so. pienten annosten aiheuttaman riskin käsittelemiseen. Vaikka LNT-malli on tieteellisesti uskottava väline säteilysuojelussa käytettäväksi, mallin perustana olevaa hypoteesia kiistatta varmistavia biologis-epidemiologisia tuloksia ei todennäköisesti tulla saamaan. Koska pienten annosten aiheuttamiin terveysvaikutuksiin liittyy epävar-

muutta, ICRP:n mielestä ei pitäisi etukäteen arvioida mahdollisten tulevien syöpätapausten tai perinnöllisten sairauksien lukumäärää väestön terveydenhuollon suunnittelua varten, kun tarkastelun kohteena ovat hyvin pienet säteilyannokset suurille ihmisjoukoille hyvin pitkien aikojen kuluessa (katso myös 4.4.7. ja 5.8.).

LNT-mallin käyttöön liittyy avoimia kysymyksiä kuten adaptiivinen soluvaste, spontaanisti syntyvien ja pienten annosten aiheuttamien DNA-vaurioiden suhteellinen yleisyys sekä säteilytyksen jälkeen ilmenevä perimän epävakaisuus ja naapurisoluvaikutus (ICRP 99). Nämä biologiset tekijät voivat vaikuttaa syöpäriskiin. Tällä hetkellä yllä mainittujen prosessien mekanismeihin ja niiden vaikutukseen kasvainten syntyyn liittyy kuitenkin liian paljon epävarmuuksia, jotta niistä voitaisiin tehdä käytännön johtopäätöksiä.

Säteilyaltistuksesta johtuvan elinkohtaisen syövän riskistä on saatu lisää epidemiologisia tutkimustuloksia, erityisesti Japanin ydinpommituksissa eloonjääneiden seurantatutkimuksesta (Life Span Study, LSS). Syöpäkuolleisuutta koskeva seuranta-aika on 47 vuotta ja syövän esiintymistä koskeva 41 vuotta. Jälkimmäisen tutkimuksen tulokset, jotka eivät olleet käytettävissä vuonna 1990, voivat antaa luotettavampia arvioita riskistä pääasiassa siksi, että syöpädiagnoosia koskeva tieto on varmempi. Siksi ICRP on uusissa perussuosituksissa painottanut syövän esiintymistietoja. Lisäksi seurantatutkimuksesta on saatu tietoa säteilystä johtuvan syöpäriskin ajallisesta ilmenemisestä ja ikäriippuvuudesta, etenkin arvioitaessa nuorena altistuneiden riskiä. Nykyiset, LSS:n perusteella tehdyt arviot syöpäriskistä eivät ole paljoa muuttuneet vuoteen 1990 verrattuna, mutta syövän esiintymisen ottaminen mukaan antaa vankemman pohjan käytetyille riskimallille.

LSS ei kuitenkaan ole ainoa tietolähde syöpäriskistä. ICRP on tarkastellut lääketieteellisistä, työperäisistä ja ympäristötutkimuksista saatavaa tietoa, ja joidenkin elinten syöpien suhteen ne ovat yhdensuuntaisia LSS-tulosten kanssa. Joidenkin elinten ja kudosten osalta sekä kokonaisriskin osalta on kuitenkin eroja eri tiedostojen perusteella saatavien arvioiden välillä.

Yhdistyneiden kansakuntien ionisoivan säteilyn vaikutusten tieteellinen komitea (UNSCEAR) on käyttänyt annoksen ja annosnopeuden vähennystekijää DDREF muuntamaan suurilla annoksilla ja annosnopeuksilla määritettyä syöpäriskiä soveltuvaksi pienten annosten ja annosnopeuksien aiheuttaman riskin arviointiin. DDREF:n suuruus on päätelty epidemiologisista tutkimuksista, eläinkokeista ja solututkimuksista. ICRP 60:ssa säteilysuojelutarkoitukseen suositeltiin käytettäväksi DDREF:n arvoa 2.

Periaatteessa DDREF:n suuruus pitäisi voida suoraan määrittää pitkäaikaisesta työperäisestä ja väestöaltistuksesta saatavan tiedon perusteella. Näissä tutkimuksissa on kuitenkin suuria tilastollisia epävarmuuksia eikä ole

ollut mahdollista kontrolloida sekoittavia tekijöitä asianmukaisesti. Siksi ICRP perustaa edelleenkin DDREF:n arvon valinnan kokeellisten tutkimusten antamaan annos-vastetietoon, LSS-tutkimukseen ja julkaistuihin todennäköisyyspohjaisiin epävarmuusanalyysihin.

Säteilysuojelun käytännön tarpeisiin ICRP suosittelee edelleen vähennystekijän arvona kokonaislukua 2 korostaen samalla, että se on karkea arvio, johon liittyy epävarmuutta. Tätä riskin vähennystekijää 2 on käytetty taulukossa I määritettäessä nimellistä riskikerrointa kaikille syöville, mutta ICRP toteaa, että todellisuudessa eri elimille/kudoksille annoksen ja annosnopeuden vaikutus voi olla erilainen.

3.2.2 Perinnöllisten vaikutusten riski

Vieläkään ei ole saatu suoria todisteita siitä, että vanhempien säteilyaltistus lisäisi jälkeläisten perinnöllisiä sairauksia. Kuitenkin on vahvaa näyttöä siitä että säteily aiheuttaa koe-eläimissä perinnöllisiä vaikutuksia. Siksi ICRP säilyttää perinnöllisten vaikutusten riskin säteilysuojelun oppirakennelmassaan.

Taulukko I. Stokastisten vaikutusten haitan mukaan sovitetut nimelliset riskikertoimet pienillä annosnopeuksilla (10^{-2} Sv⁻¹).

Altistunut ryhmä	Syöpä		Perinnölliset vaikutukset		Yhteensä	
	ICRP 103	ICRP 60	ICRP 103	ICRP 60	ICRP 103	ICRP 60
Koko väestö	5,5	6,0	0,2	1,3	5,7	7,3
Aikuiset työntekijät	4,1	4,8	0,1	0,8	4,2	5,6

UNSCEAR on esittänyt ydinpommituksissa eloonjääneitä koskevien tutkimusten ja hiirillä tehtyjen kokeiden perusteella, että perinnöllisten vaikutusten riskiä on aikaisemmin yliarvioitu. Vuoden 1990 jälkeen on opittu myös paremmin ymmärtämään ihmisten geneettisiä sairauksia yleensä ja myös niiden ilmenemistä säteilyaltistuksen seurauksena. ICRP on tarkastellut uudelleen ICRP 60:ssa ja ICRP 83:ssa perinnöllisten vaikutusten arvioinnissa käytettyä menetelmää ja ottanut nyt käyttöön uudenlaiset puitteet, joissa arviointi perustuu ihmisistä ja hiiristä saatuun dataan. Samoin on ensimmäistä kertaa otettu mukaan tieteellisesti perusteltu menetelmä monitekijäisten sairauksien riskiarviointia varten.

Uusi perinnöllisten sairauksien riskinarviointi perustuu edelleen ICRP 60:ssä käytettyyn sairauksiin liittyvien mutaatioiden kaksinkertaistumisanokseen (DD). Nyt DD:n arvioinnissa on kuitenkin otettu huomioon mutaatioiden korjautuminen elävinä syntyneillä. Toinen ero on, että ihmisen spontaaneita mutaatioita koskevaa tietoa on käytetty yhdessä hiiritutkimuksista saadun, säteilyn aiheuttamia mutaatioita koskevan tiedon kanssa. ICRP 60:ssä geneettinen riski ilmaistiin teoreettisena tasapainona mutaation ja valinnan välillä. Tätä menetelmää ei enää pidetä kestäväenä ja ICRP ilmoittaa nyt riskin vain kahdelle ensimmäiselle sukupolvelle.

ICRP:n mielestä uusi menetelmä ei johda perinnöllisten vaikutusten vakavaan aliarviointiin. Nykyinen arvio perinnöllisistä vaikutuksista toiseen sukupolveen asti on noin 0,2 % sievertiä kohti. Arvio perustuu jatkuvaan altistukseen pienellä annosnopeudella näiden kahden sukupolven aikana.

3.2.3 Syövän ja perinnöllisten vaikutusten haitan mukaan sovitettut nimelliset riskikertoimet

Säteilyn aiheuttamasta syövästä ja perinnöllisistä vaikutuksista saatua uutta tietoa on käytetty riskimallinnuksessa ja sairaushaitan laskemisessa. Niitä puolestaan on käytetty sukupuolen suhteen keskiarvotettujen nimellisten riskikertoimien arviointiin. Jotta säteilysuojelun oppirakennelma olisi yksinkertainen ja selkeä, nimellisiä riskikertoimia tulisi soveltaa koko väestöön eikä yksilöihin. ICRP kuitenkin tiedostaa huomattavat eroavaisuudet miehiin ja naisiin kohdistuvissa riskeissä, erityisesti rintojen osalta. Samoin altistusiällä on suuri vaikutus.

Sukupuolen suhteen keskiarvotettujen syövän nimellisten riskikertoimien laskemista varten tehdään eri kudosten ja elinten nimellisten riskien arviointi ja ne suhteutetaan annos- ja annosnopeuden vaikutustekijällä, kuolleisuudella ja elämän laadulla. Näin saadaan kehitettyä joukko elinkohtaisia suhteellisen haitan arvioita, joihin kuuluvat myös sukurauhasten altistuksesta johtuvat perinnölliset vaikutukset. ICRP:n kudospainotuskertoimet perustuvat näin saatuihin suhteellisen haitan arvioihin. Menetelmä on kuvattu lyhyesti luvussa 4.

Laskelmien perusteella ICRP esittää haitan suhteen sovitettua syöpäriskin nimelliseksi todennäköisyyskertoimeksi $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ koko väestölle ja $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ aikuisille työntekijöille. Perinnöllisille vaikutuksille haitan suhteen sovitettu nimellisriski koko väestölle on laskelman mukaan $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ja aikuisille työntekijöille $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$. Suurin ero verrattuna ICRP 60:een on perinnöllisten vaikutusten nimellisen riskitekijän pieneneminen tekijällä 6–8 (taulukko I). Vaikka taulukko I:n kertoimet on ilmoitettu yhdellä desimaalilla, se ei osoita niiden tarkkuutta, vaan johtuu esityksellisistä syistä. Perinnöllisten

vaikutusten pieneneminen on laskenut myös sukuelinten arvioitua kudospainotuskerrointa huomattavasti (luku 4).

Uudet syövän nimelliset riskikertoimet on laskettu eri tavalla kuin ne, jotka olivat ICRP 60:ssa. Uudet kertoimet perustuvat syövän esiintyvyyteen, joka on painotettu kuolleisuudella ja elämän laadun heikkenemisellä. ICRP 60:ssa haitta perustui syöpäkuolleisuuteen, joka oli painotettu elinajan lyhenemisellä, ei-kuolemaan johtavan syövän osuudella sekä siihen liittyvän elämän laadun heikkenemisellä. Vaikka syöpäriskitietojen lähteet ja niiden käsittely poikkeavat ICRP 60:ssa käytetyistä, ICRP katsoo, että uudet nimelliset riskikertoimet ovat sopusuhteissa aikaisempien kanssa. Siksi ICRP suosittelee, että kuolemaan johtavan riskin kertoimena käytetään edelleen lukua 5 % sievertiä kohti, johon tällä hetkellä voimassa olevat kansainväliset säteilyturvallisuusstandardit perustuvat.

3.2.4 Geneettinen herkkyys syövälle

Yksilöllisiin geneettisiin eroihin herkkyydessä säteilystä aiheutuvalle syövälle kiinnitettiin huomiota jo ICRP 60:ssa ja aihetta arvioitiin uudelleen julkaisussa ICRP 79. Viime aikoina on saatu paljon uutta tietoa erilaisista yhden geenin aiheuttamista geneettisistä häiriöistä, joissa voimakkaasti ilmenevät geenit aiheuttavat hyvin paljon spontaaneja syöpätapauksia. Todennäköisesti näihin liittyy useimmiten myös normaalia suurempi herkkyys säteilyn syöpää aiheuttavalle vaikutukselle.

Jonkin verran tietoa on myös siitä, että heikommin ilmenevät muuntuneet geenit voivat aiheuttaa geeni-geeni ja geeni-ympäristö vuorovaikutusten kautta suurta vaihtelua syövän ilmaantumisessa säteilyaltistuksen jälkeen. ICRP uskoo, että voimakkaasti ilmenevät syöpägeenit ovat liian harvinaisia, jotta ne tulisi ottaa huomioon arvioitaessa väestötasolla pienistä säteilyannoksista aiheutuvan syövän riskiä. Vaikka heikommin ilmenevät muuntuneet syöpägeenit voivat periaatteessa olla riittävän tavallisia vaikuttaakseen väestötasolla säteilystä johtuvan syövän riskiin, tietämys niistä on vielä liian niukkaa kvantitatiivisten päätelmien tekoon.

3.3 Muiden sairauksien kuin syövän syntyminen

Vuoden 1990 jälkeen on saatu lisätietoa siitä, että eräissä säteilylle altistuneissa ryhmissä myös muut sairaudet kuin syöpätaudit ovat lisääntyneet. Paras tilastollinen todiste näiden sairauksien synnystä 1 Sv:n luokkaa olevalla efektiivisellä annoksella on saatu ydinasepommituksissa eloonjääneiden japanilaisten kuolleisuustutkimuksissa. Tilastollista näyttöä yhtey-

destä säteilyannokseen on saatu etenkin sydän- ja verisuonisairauksista ja ruoansulatus- ja hengityselinten sairauksista. ICRP kiinnittää huomiota muiden sairauksien kuin syövän mahdolliseen merkitykseen, mutta toteaa, että tällä hetkellä käytettävissä oleva tieto ei riitä niiden ottamiseen mukaan pienten, alle 100 mSv:n annosten aiheuttaman haitan arviointiin. Myös UNSCEAR on todennut että riskin lisääntymisestä alle 1 Gy:n annoksilla on vain vähän näyttöä.

3.4 Säteilyn vaikutukset alkioon ja sikiöön

Kudosvaurio- ja epämuodostumariskiä säteilyä saaneessa alkiossa ja sikiössä on arvioitu julkaisussa ICRP 90. Siinä pääosin vahvistettiin ICRP 60:ssa tehtyjä raskauden aikaisia riskejä koskevia johtopäätöksiä, vaikkakin jotkin näkemykset pystyttiin selkeyttämään uuden tiedon perusteella. Alla on yhteenveto raskaudenaikaisten kudosvaurioiden ja epämuodostumien riskeistä, joita pienen energiansiirtokyvyn omaava säteily aiheuttaa alle 100 mGy:n annosalueella.

Uusi tieto vahvistaa, että ennen alkion kiinnittymistä säteily voi aiheuttaa alkion kuoleman. Alle 100 mGy:n annoksilla tällainen vaikutus on hyvin harvinainen. Epämuodostumien synnyn suhteen uusi tieto vahvistaa, että säteilyherkkyys on suurimmillaan organogeneesin aikaan. Eläinkokeista on päätelty, että epämuodostumien synnylle on olemassa todellinen kynnsarvo noin 100 mGy:n annoksen kohdalla. Siksi ICRP toteaa, että raskauden aikaisen selvästi alle 100 mGy:n altistuksen jälkeen ei käytännössä ole lisääntynyttä epämuodostumien riskiä.

Ydinpommituksissa eloonjääneistä saadut tiedot vakavan henkisen jälkeenjääneisyyden syntymisestä kaikkein herkimmän sikiönkehityksen aikana (8–15 viikkoa hedelmöityksen jälkeen) viittaavat vähintään 300 mGy:n annoksen kynnsarvoon, eli riskiä ei ole pienillä annoksilla. Samasta materiaalista saatu tieto älykkyysosamäärän laskusta noin 25 pistettä yhden grayn annosta kohti on vaikeampi tulkita ja on mahdollista, että mitään kynnystä ei ole. Joka tapauksessa, vaikka kynnystä ei olisikaan, älykkyysosamäärän laskulla ei ole minkäänlaista käytännön merkitystä alle 100 mGy:n annoksella.

Raskauden aikaisen lääketieteellisen säteilyaltistuksen on tapaus-verrokkitutkimuksissa todettu lisäävän kaikkia lapsuuden syöpätyyppejä. ICRP toteaa, että erityisen paljon epävarmuutta liittyy kiinteiden syöpien riskin arviointiin kohdunsisäisen altistuksen jälkeen. Niinpä ICRP pitää järkevänä olettaa että kohdunsisäisestä altistumisesta johtuva elinikäinen syöpäriski on samansuuruinen kuin varhaislapsuudessa tapahtuneesta altistumisesta johtuva, siis korkeintaan kolminkertainen verrattuna koko väestön riskiin.

3.5 Päätelmät ja epävarmuudet

Vaikka ICRP tiedostaa, että säteilyn ja muiden altistustekijöiden aiheuttamat synergiset vaikutukset voivat myöhemmin osoittautua tärkeiksi, tällä hetkellä ei pienillä annoksilla ole varmoja todisteita sellaisesta yhteisvaikutuksesta, joka oikeuttaisi muuttamaan nykyisiä arviota säteilyn aiheuttamasta riskistä.

Tässä luvussa käsitellyn tiedon perusteella ICRP suosittelee, että käytännön säteilysuojelu edelleen perustuisi olettamukseen että alle 100 mSv:n annoksilla tietty lisäys annoksessa tuottaa suoraan verrannollisen lisäyksen säteilystä aiheutuneiden syöpien ja perinnöllisten vaikutusten todennäköisyyteen. ICRP:n mielestä LNT-malli yhdessä sovitetun DDREF-arvon kanssa on järkevä perusta käytännön säteilysuojelulle eli pienten säteilyannosten aiheuttaman riskin käsittelylle etukäteen tehtävissä arvioissa.

4 Säteilysuojelussa käytettävät suureet

4.1 Johdanto

ICRP:n käyttämät *suojelusuureet* (ekvivalenttiansos ja efektiivinen annos) perustuvat ihmiskehon elimiin ja kudoksiin säteilystä siirtyneen energian määrittämiseen. Jotta säteilyannos saadaan muunnettua säteilyn aiheuttamaksi riskiksi (haitaksi), tulee säteilylajien erilainen biologinen tehokkuus sekä kudosten ja elinten erilainen säteilyherkkyys ottaa huomioon. Elimille ja kudoksille määritettävä *ekvivalenttiansos* ja kehon *efektiivinen annos* otettiin käyttöön ICRP 60:ssa ja siinä esitettiin menetelmät niiden laskemiseksi.

Ekvivalenttiansosta ja efektiivisestä annosta ei voida mitata suoraan kehon kudoksista. Mittauksia varten on määritelty ns. *käyttösuureet*, joiden avulla ekvivalenttiansos ja efektiivinen annos voidaan arvioida.

Efektiivinen annos on säteilysuojelussa käyttökelpoinen ja laajalti hyväksytty ja ICRP suosittelee edelleen sen käyttöä. ICRP 60:ssa esitetystä dosimetrisesta systeemistä on kuitenkin monia piirteitä, joita on tarpeen tarkastella lähemmin ja niitä on selvennetty tässä luvussa. On myös tarkkaan harkittava missä tilanteissa efektiivisestä annosta tulee käyttää ja missä ei. Joissakin tilanteissa kudokseen absorboitunut annos tai ekvivalenttiansos on sopivampi suure.

4.2 Terveysvaikutusten huomioon ottaminen

Pienten annosten alueella säteilysuojelu tarkoittaa ensisijaisesti suojelua säteilyn aiheuttamalta syövältä ja perinnöllisiltä vaikutuksilta. Näitä vaikutuksia kuvataan todennäköisyyksillä (stokastinen tarkastelu), niiden esiintymiselle ei ole annoksen kynnsarvoa ja niiden esiintymisen todennäköisyys kasvaa säteilyannoksen kasvaessa. Efektiivisen annoksen määritelmässä ja laskemisessa käytetään painotuskertoimia: säteilyn painotuskertoimella w_R huomioidaan eri säteilylajien aiheuttamien stokastisten vaikutusten erot ja kudoksen painotuskertoimella w_T eri elinten ja kudosten herkkyysien erot stokastisten vaikutusten syntymiselle (katso kappale 4.3.4.). Myös suuren lineaarisen energiansiirtokyvyn (LET) säteilyn painotuskertoimet on määritetty pienten annosten aiheuttamia stokastisia vaikutuksia varten.

Suurilla annoksilla, joita voi syntyä erityisesti säteilyvaaratilanteissa, säteily voi aiheuttaa suoria kudosvaikutuksia. Näitä kliinisesti havaittavia vaurioita voi syntyä annoksen kynnsarvoa suuremmilla annoksilla. Vaurion suuruus riippuu absorboituneesta annoksesta, annosnopeudesta, säteilyn laadusta ja kudoksen herkkyydestä. Suhteelliset biologiset tehokkuudet (RBE-arvot) suuren energiansiirtokyvyn säteilyn aiheuttamille kudosreaktioille ovat yleensä

pienempiä kuin vastaavat RBE-arvot pienten annosten stokastisille vaikutuksille. Lisäksi kudosten suhteellinen herkkyys on erilainen. Ekvivalenttiannosta tai efektiivistä annosta ei tule käyttää arvioitaessa suurten säteilyannosten vaikutuksia eikä päätettäessä syntyneiden kudoksetuhojen hoidon tarpeesta. Niissä tilanteissa annoksien arvioinnissa tulee käyttää absorboitunutta annosta (gray, Gy) ja, jos suuren LET-arvon säteilyä on mukana (esim. neutroneita tai alfahiukkasia), sopivalla RBE-arvolla painotettua absorboitunutta annosta.

4.3 Annossuureet

4.3.1 Absorboitunut annos

Säteilybiologiassa, kliinisessä radiologiassa ja säteilysuojelussa annoksen perussuure on absorboitunut annos, D , ja sitä käytetään kaiken tyyppiselle ionisoivalle säteilylle ja kaikille säteilytysgeometrioille. Absorboitunut annos määritellään

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} \quad (4.1)$$

missä $d\bar{\varepsilon}$ on ionisoivasta säteilystä aineen massa-alkioon dm siirtynyt keskimääräinen energia. Absorboitunut annos on mittaussuure ja sen määritelmä on tieteellisesti eksakti. Absorboituneen annoksen arvon määrittämiseksi on olemassa tarkkoja mittalaitteita (primaaristandardeja). Absorboituneen annoksen SI-yksikkö on J kg^{-1} ja yksikön nimi on gray (Gy).

4.3.2 Annoksen keskiarvon määrittäminen

Kun absorboitunutta annosta käytetään käytännön säteilysuojelussa, kudokselle lasketaan keskimääräinen absorboitunut annos. Säteilysuojelutarkoituksia varten voidaan olettaa että pienillä säteilyannoksilla keskimääräinen absorboitunut annos jossakin elimessä tai kudoksessa korreloi säteilyn tässä kudoksessa aiheuttamien stokastisten vaikutusten kanssa.

Keskimääräinen absorboitunut annos lasketaan tietylle elimelle (esim. maksa), kudokselle (esim. lihas) tai kudoksen herkälle osalle (esim. luuston pintakudokset). Se miten hyvin keskimääräinen annos edustaa kaikkien elimen alueiden absorboitunutta annosta riippuu ulkoisen säteilyn kyseessä ollen altistuksen tasaisuudesta ja säteilyn läpäisykyvystä kudoksissa. Jos säteily läpäisee kudosta heikosti (esim. pienien energiset fotonit) tai sillä on lyhyt kantama (esim. varauksiset hiukkaset) ja jos elimet tai kudokset ovat laajalla alueella (esim.

luuydin, imusolmukkeet tai iho) absorboituneen annoksen jakauma tietyssä kudoksessa tai elimessä voi olla hyvin epätasainen. Äärimmäisessä tapauksessa voi osittaisessa kehon altistuksessa syntyä kudосvaurio, vaikka elimen tai kudoksen keskimääräinen annos tai efektiivinen annos ovat annosrajoja pienempiä. Esimerkiksi paikalliselle ihoannokselle annettu annosraja, jota käytetään kun kyseessä on altistus heikosti läpäisevälle säteilylle, ottaa huomioon edellä kuvatun annoksen epätasaisen jakautumisen.

Kehon sisällä olevista radionuklideista aiheutuva absorboituneen annoksen jakauma kudoksissa ja elimissä riippuu emittoituvan säteilyn läpäisykyvystä ja kantamasta. Alfahiukkasia, pehmeitä beetahiukkasia, pienenergisii fotoneita tai Auger-elektroneja emittoivien radionuklidien aiheuttama absorboituneen annoksen jakauma voi olla erittäin epätasainen. Jakauman epätasaisuus korostuu erityisesti silloin, kun radionuklidi on hengitys- ja ruoansulatuselimistössä tai luustossa. Tällöin annosmäärittämisessä voidaan käyttää erityisiä dosimetrisii malleja, jotka näissä erityistapauksissa ottavat huomioon epätasaisuuden aktiivisuuden jakautumisessa ja pidättymisessä sekä alueiden herkkyudessa.

4.3.3 Ekvivalenttiannos ja säteilyn painotuskertoimet

Suojelusuureita käytetään altistusrajojen määrittelyssä. Altistusrajojen avulla varmistetaan, että stokastisten terveysvaikutusten ilmaantuminen pysyy hyväksyttävällä tasolla ja että kudосreaktiot voidaan välttää. Elimen tai kudoksen saaman *ekvivalenttiannoksen* H_T :n määritelmä on

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad (4.2)$$

missä w_R on säteilyn painotuskerroin säteilylaadulle R ja $D_{T,R}$ on säteilylaadusta R aiheutuva keskimääräinen absorboitunut annos kudokselle tai elimelle T. (taulukot II ja III). Summaan otetaan mukaan kaikki kohteeseen tulevat säteilylajit. Ekvivalenttiannoksen yksikkö on J kg⁻¹ ja yksikön nimi on sievert (Sv).

ICRP alkoi käyttää nykyisen kaltaisia säteilyn painotuskertoimia (w_R) julkaisussa ICRP 60. Ne perustuvat ensisijaisesti eri säteilylajien suhteelliseen biologiseen tehokkuuteen (RBE). Näissä uusissa suosituksissa (ICRP 103) on tehty muutamia muutoksia painotuskertoimiin. Mm. neutronien ja protonien painotuskertoimia on muutettu ja pionien painotuskerroin on otettu mukaan. w_R -kertoimien valinta perustuu laajan, stokastisia vaikutuksia tarkastelevan kokeellisen RBE-datan arviointiin. RBE-arvot kasvavat suurimpaan arvoonsa säteilyannoksen pienentyessä (ICRP 92) ja säteilyn painotuskertoimille on valittu RBE-maksimi-arvojen mukaisesti kiinteä arvo.

Taulukko II. Säteilyn painotuskertoimet w_R .

Säteilylaji	Säteilyn painotuskerroin w_R
Fotonit	1
Elektronit ^a ja myonit	1
Protonit ja varatut pionit	2
Alfahiukkaset, fissiofragmentit, raskaat ionit	20
Neutronit	Neutronin energiasta riippuva jatkuva funktio (kuva 1 ja yhtälö 4.3)
Kaikki arvot koskevat kehoon ulkoapäin kohdistuvaa säteilyä tai sisäisen säteilyn kyseessä ollen, kehon sisällä olevien radionuklidien emittoimaa säteilyä.	

^a Auger-elektroneja käsitellään erikseen kappaleessa *Fotonit, elektronit ja myonit*.

Taulukko III. Kudosten painotuskertoimet.

Kudos	w_T	Σw_T
Luuydin, paksusuoli, keuhkot, mahalauku, rinta, muut kudokset ^a	0,12	0,72
Sukurauhaset	0,08	0,08
Virtsarakko, ruokatorvi, maksa, kilpirauhanen	0,04	0,16
Luun pinta, aivot, sylkirauhaset, iho	0,01	0,04
	Yht.	1,00

^a Muut kudokset: lisämunuaiset, rintakehän ulkopuoliset hengitystiet, sappirakko, sydän, munuaiset, imurauhaset, lihakset, suun limakalvot, haima, eturauhanen, ohutsuoli, perna, kateenkorva, kohtu/kohdunkaula.

Vertailusäteily

Kokeellisesti saatu RBE:n arvo riippuu siitä, mikä säteily kokeessa on valittu vertailusäteilyksi. Yleensä vertailusäteilyksi valitaan pienen LET-arvon fotonisäteily, vaikkakaan mistään tietystä energiasta ei ole sovittu. Kun säteilyn painotuskertoimista sovittiin ICRP 60:tä varten, tarkasteltiin suurta määrää kokeellista RBE-dataa, jossa oli käytetty joko yli 200 kV:n röntgensäteilyä tai ⁶⁰Co tai ¹³⁷Cs gammasäteilyä. Samoin on menetelty myös näissä uusissa suosituksissa, joskin on huomattava, että kokeellisen RBE:n arvoon voi vaikuttaa se käytetäänkö vertailusäteilyinä röntgensäteilyä vai kovaenergistä gammasäteilyä (esim. ⁶⁰Co). Näitä eroja on havaittu ensisijaisesti *in vitro* solukokeissa.

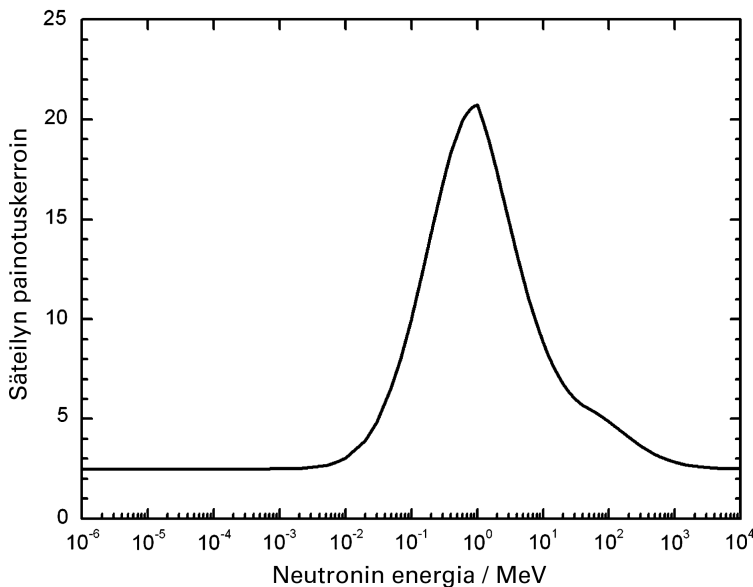
Fotonit, elektronit ja myonit

Fotonit, elektronit ja myonit ovat säteilyä, jonka LET-arvo on pienempi kuin 10 keV/μm. Näille säteilylajeille on aina käytetty säteilyn painotuskerrointa 1

ja tämän käytännön jatkamiselle on edelleenkin hyviä syitä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että eri energiset fotonit olisivat myös säteilylaadultaan samantaisia ja tämä yksinkertaistus sopii vain efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen käyttöön säteilysuojelussa, kun arvioidaan ja rajoitetaan säteilyaltistusta pienten annosten alueella. Kun tehdään yksilökohtaista, taannehtivaa riskiarviota, voi olla hyödyllistä käyttää yksityiskohtaisempia tietoja säteilykentästä ja RBE-arvoista, jos niitä on saatavissa. Jos annosjakauma solun sisällä on epätasainen, esim. kun tritium tai Auger-elektroneja emittoiva nuklidi kiinnittyy DNA:han, voi säteilyvaikutusten arviointi vaatia myös tarkempaa analysointia eivätkä ekvivalenttiannos ja efektiivinen annos ole siihen sopivia suureita (katso kappale 4.4.6).

Neutronit

Neutronisäteilyn painotuskerroin kuvaa neutronien aiheuttamaa suhteellista biologista vaikutusta ulkoisessa altistuksessa ja riippuu voimakkaasti neutronin energiasta. ICRP 60:ssa neutronien säteilyn painotuskerroin määriteltiin neutronien energian suhteen porraskäyräksi. Koska neutronisäteilyllä on yleensä laaja energiajakauma, suositellaan nyt neutronien säteilyn painotuskerroin kuvattavaksi jatkuvalla funktiolla (kuva 1). Vaikka funktio on jatkuva, ei perusdata ole välttämättä aiempaa tarkempi.



Kuva 1. Neutronien säteilyn painotuskerroin w_R neutronin energian funktiona.

Painotuskertoimen valinnassa on uusiin suosituksiin tehty eräitä muutoksia. Suurin ero ICRP 60:een verrattuna on sekä pienillä että yli 100 MeV:in neutronienergioilla tapahtunut w_R :n pieneneminen. Pienillä energioilla neutronien säteilyn painotuskertoimen pieneneminen johtuu sekundäärysten fotonien aiheuttaman annoksen huomioon ottamisesta. Säteilyn painotuskerrointa w_R kuvaava neutronin energiasta E_n riippuva jatkuva funktio on

$$w_R = \begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}, & E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}, & 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}, & E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases} \quad (4.3)$$

Tämä funktio (kaava 4.3 ja kuva 1) on muodostettu kokeellisesti ja se on yhtäpitävä nykyisen biologisen ja fysikaalisen tiedon kanssa.

Protonit ja pionit

Protonialtistuksen tapauksessa vain ulkoisilla säteilylähteillä on käytännön merkitystä säteilysuojelussa. Kosmisessa säteilyssä ja suurienergisten hiukkaskiihdyttimien ympäristössä esiintyvät protonit ovat suurimmaksi osaksi hyvin suurenergisiä. Muutaman MeV:n protoneilla on vain vähän merkitystä, vaikka niiden suurempi biologinen tehokkuus otetaan huomioon. Katsotaan, että säteilysuojelutarkoituksiin protonien painotuskertoimeksi riittää yksi luku kaikilla energioilla. Valittu luku on 2 ja se perustuu lähinnä säteilybiologiseen dataan suurienergisillä, yli 10 MeV:n protoneilla. Tällaisten protonien kantama kudoksessa on 1,2 mm ja se pienenee energian pienetessä. Nämä protonit siis absorboituvat ihoon. Protoneilla säteilyn painotuskerroin 2 korvaa ICRP 60:ssa olleen kertoimen 5.

Pionit ovat negatiivisesti tai positiivisesti varautuneita tai neutraaleja hiukkasia, joita esiintyy primaarisen kosmisen säteilyn ja atomiydinten vuorovaikutuksessa ilmakehän ylimmissä kerroksissa. Nämä hiukkaset vaikuttavat lennoilla saatavaan säteilyaltistukseen. Niitä on havaittu myös suurenergisten kiihdyttimien säteilysuojausten takana olevissa monimutkaisissa säteilykentissä, jolloin ne vaikuttavat kiihdyttimillä työskentelevien henkilöiden säteilyaltistukseen. Pionien energiajakauma on hyvin laaja mutta yhtä lukua, 2, suositellaan painotuskertoimeksi kaikille varauksisille pioneille.

Alfahiukkaset

Ihmiset voivat altistua alfahiukkasille sisäisen säteilyn seurauksena, esimerkiksi hengitetyn radonin hajoamistuotteista tai saatuaan kehoonsa ruoan ja juoman mukana alfasäteilijöitä kuten plutoniumin, poloniumin, radiumin, toriumin tai uraanin isotooppeja. Kehonsisäisten alfasäteilijöiden riskeistä

on käytettävissä joukko epidemiologisia ja eläintutkimuksia. Kuitenkin radionuklidien jakautuminen elimissä ja kudoksissa on monimutkaista ja laskennalliset tulokset riippuvat käytetystä arviointimallista. Mallien avulla laskettuihin annoksiin liittyy huomattavia epävarmuustekijöitä ja niistä saaduissa RBE-arvoissa on laaja vaihteluväli (ICRP 92).

Huolimatta alfasäteilijöiden aiheuttaman annoksen ja riskin arvioinnissa olevista huomattavista epävarmuuksista, käytettävissä oleva ihmisiä ja eläimiä koskeva data osoittaa, että RBE riippuu siitä, mitä biologista vaikutusta tarkastellaan. Käytettävissä oleva rajoitettu ihmisiä koskeva tieto viittaa RBE arvoihin 10–20 keuhko- ja maksasyövän osalta ja pienempiin arvoihin luusyövän ja leukemian osalta. Käytettävissä oleva tieto arvioitiin ICRP 92:ssa ja koska mitään selkeää todistetta alfa-säteilijöiden painotuskertoimen muuttamisen tueksi ei saatu, kertoimen arvona on päätetty säilyttää 20.

Fissiofragmentit ja raskaat ionit

Fissiofragmenteista saatu annos on tärkeä säteilysuojelussa, erityisesti sisäisessä dosimetriassa. Niiden kohdalla tilanne säteilyn painotuskertoimen suhteen on samanlainen kuin alfahiukkasten kohdalla. Raskaiden ionien ja fissiofragmenttien lyhyt kantama elimissä ja kudoksissa ja syntyvän ionisaation suuri tiheys vaikuttavat voimakkaasti näiden hiukkasten biologiseen tehokkuuteen. Säteilyn painotuskertoimeksi suositellaan 20, joka on sama kuin alfa-hiukkasilla.

Raskaita ioneja esiintyy ulkoisessa säteilykentässä suurissa korkeuksissa ilmakehässä ja avaruudessa. Raskaiden ionien RBE-arvoista tiedetään hyvin vähän ja tieto pohjautuu enimmäkseen *in vitro* tutkimuksiin. Raskaiden varattujen hiukkasten osuessa ja pysähtyessä ihmiskehoon niiden säteilyn laatu muuttuu voimakkaasti pitkin hiukkasen rataa. Yhden arvon, 20, valinta kaikille raskaille ioneille ja energioille on konservatiivinen ja sen katsotaan olevan riittävä säteilysuojelun yleisiin tarpeisiin. Avaruusmatkoilla huomattava osa kokonaisannoksesta tulee näistä hiukkasista ja silloin voi olla syytä arvioida säteilyn painotuskertoimet tarkemmilla menetelmillä.

4.3.4 Efektiivinen annos ja kudosten painotuskertoimet

Efektiivinen annos E , joka otettiin käyttöön julkaisussa ICRP 60, määritellään kudosten ekvivalenttiannosten painotetuksi summaksi:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (4.4)$$

missä w_T on kudoksen T painotuskerroin ja $\Sigma w_T = 1$. Summaan otetaan mukaan kaikki ne ihmiskehon elimet ja kudokset, joiden katsotaan olevan herkkiä stokastisten vaikutusten syntymiselle. Kudosten painotuskertoimet on valittu niin, että ne edustavat yksittäisten elinten ja kudosten osuutta stokastisten vaikutusten aiheuttamassa kokonaishaitassa. Efektiivisen annoksen yksikkö on J kg^{-1} ja yksikön nimi on sievert (Sv). Efektiivisellä annoksella, ekvivalenttiannoksella ja myös muutamilla käyttösuureilla (katso kappale 4.3.6) on sama yksikkö, joten niiden käytön yhteydessä on ilmoitettava mikä suure on kyseessä.

Taulukossa III on lueteltu ne elimet ja kudokset, joille painotuskerroin on määritelty. Painotuskertoimien arvot perustuvat syövän ilmaantumista koskeviin epidemiologisiin tutkimuksiin ja perinnöllisten sairauksien riskin arviointiin. Arvot kuvaavat molempien sukupuolien ja kaikkien ikäluokkien riskikeskiarvoja eivätkä siten kuvaa minkään yksittäisen henkilön riskiä.

Niin sanottujen muiden kudosten painotuskerroin ($w_T = 0,12$) liittyy kummallekin sukupuolelle taulukon III alaviitteessä lueteltujen 13 kudoksen tai elimen annoksen aritmeettiseen keskiarvoon. ICRP 60:ssä oleva ns. muiden kudosten jakosääntö on poistettu ja siten niiden painotuskertoimen käyttö on yksinkertaisempaa kuin aikaisemmin.

4.3.5 Efektiivisen annoksen määrittäminen

Perusfantomit

Ekvivalenttiannosta ja efektiivistä annosta ei voida suoraan mitata. Työperäisessä altistuksessa niiden arvot määritetään mittaamalla käyttösuureita (kappale 4.3.6.) ja muodostamalla käyttösuureiden arvoista ekvivalenttiannokset ja efektiiviset annokset muuntokertoimien avulla. Ulkoisen säteilyn muuntokertoimien laskemiseksi käytetään tietokonepohjaisia fantomeja, joiden avulla arvioidaan erilaisten säteilykenttien aiheuttamaa annosta. Sisäisen säteilyannoksen laskemiseksi käytetään radionuklidien biokineettisiä malleja, fysiologista vertailutietoa ja tietokonepohjaisia fantomeja.

Perusmiehen ja perusnaisen ekvivalenttiannosten ja perushenkilön efektiivisen annoksen arviointiin käytetään ihmisen anatomisia malleja ja fantomeja. Aikaisemmin käytettyjen erilaisten matemaattisten mallien sijaan ICRP käyttää nyt tietokonepohjaisia perusmiehen ja perusnaisen vertailufantomeja. Fantomit perustuvat lääketieteelliseen tomografiakuvantamiseen ja ne koostuvat kolmiulotteisista tilavuuselementeistä, vokseleista. Tiettyjä elimiä muodostavat vokselit vastaavat ICRP 89:ssä määriteltyjä perusmiehen ja perusnaisen elinten massoja. Ekvivalenttiannoksen ja efektiivisen annoksen laske-

miseksi on fysikaalisille suureille laskettu valmiit annoksen muuntokertoimet standardialtistustilanteissa. Näitä fysikaalisia suureita ovat esimerkiksi hiukkaskertymä tai ilmakerma ulkoisen altistuksen ollessa kyseessä ja saanti sisäisessä altistuksessa.

Näitä perusmiestä ja perusnaista kuvaavia malleja käytetään kun laskeaan ulkoisesta vertailusäteilykentästä tai kehoon joutuneiden radionuklidien hajoamisesta aiheutuva elimeen tai kudokseen T keskimääräisesti absorboitunut annos D_T . Näiden laskettujen annosten avulla määritetään edelleen ulkoisen tai sisäisen altistuksen ja elinten keskimääräisten annosten suhde, jotka esitetään muunnoskertoimina. Kun elinten ja kudosten keskimääräiset annokset kerrotaan säteilyn painotuskertoimella w_R , saadaan perusmiehen ja perusnaisen kudosten ja elinten ekvivalenttiannokset (kuva 2). Tietokonepohjaisia perusfantomeja on kehitteillä kuvaamaan myös eri-ikäisiä lapsia, raskaana olevaa naista ja sikiötä.

Sukupuolten välinen keskiarvo efektiivistä annosta varten

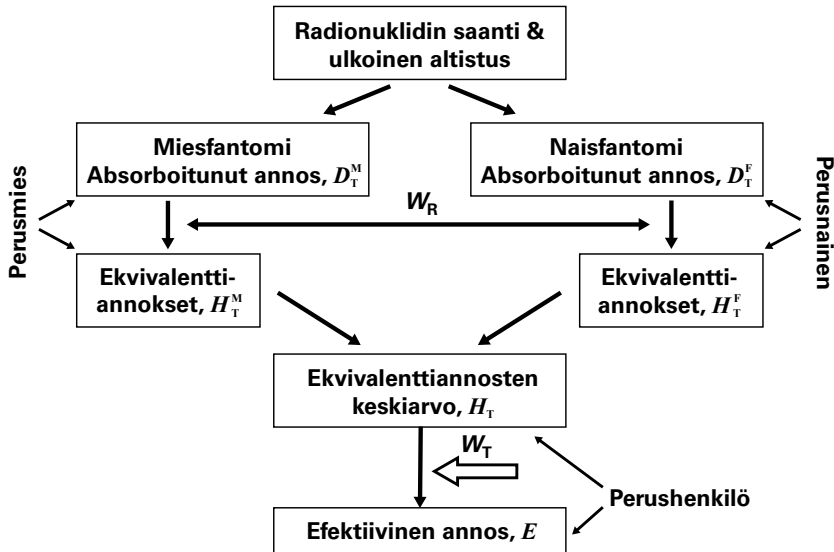
Säteilysuojelussa on hyödyllistä käyttää vain yhtä efektiivisen annoksen arvoa molemmille sukupuolille (katso kappale 3.2.3). Taulukossa III olevat kudosten painotuskertoimet, mukaan luettuna miehen ja naisen rinnat, kivekset ja munasarjat (sukurauhasiin liittyy syövän syntyminen ja perinnölliset vaikutukset) ovat keskiarvoja sukupuolen ja iän suhteen. Siksi tätä menettelyä voidaan käyttää vain efektiivisen annoksen määrittämiseen säteilysuojelua varten eikä sitä pidä käyttää yksilön riskin arviointiin. Efektiivinen annos lasketaan miehen ja naisen elinten ja kudosten T ekvivalenttiannoksista H_T^M ja H_T^F , yhtälön (4.5) mukaisesti. Laskentamenettelyä on havainnollistettu kuvassa 2:

$$E = \sum_T w_T \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (4.5)$$

Kuten kaikille elimille ja kudoksille, ekvivalenttiannos ryhmälle *muut kudokset* määritellään erikseen perusmiehelle ja perusnaiselle ja otetaan mukaan yhtälöön (4.5). Taulukon III alaviitteessä olevien muiden kudosten ekvivalenttiannosten keskiarvo on

$$H_{\text{rmd}}^M = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^M \text{ ja } H_{\text{rmd}}^F = \frac{1}{13} \sum_T^{13} H_T^F \quad (4.6)$$

missä T on jokin taulukossa III oleva muu kudos.



Kuva 2. Sukupuolten välisen keskiarvon käyttäminen efektiivisen annoksen määrittämisessä.

4.3.6 Käyttösuureet

Kehoon liittyviä suojelusuureita, ekvivalenttiansnotta ja efektiivistä annosta, ei pystytä käytännössä mittaamaan, vaan ne täytyy arvioida mitattavien käyttösuureiden avulla. Säteilysuojelun annosmittarit on kalibroitu näille käyttösuureille mittauksia varten. Käyttösuureiden avulla voidaan useimmissa säteilytilanteissa tehdä konservatiivinen arvio henkilön altistuksesta tai potentiaalisesta altistuksesta ja näitä suureita käytetään usein säteilysuojelusäännöissä. Seuraavassa kappaleessa on yhteenveto sisäisen ja ulkoisen altistuksen arvioimiseen käytettävistä erilaisista käyttösuureista.

Ulkoisen säteilyn altistuksen mittaamista varten olevat käyttösuureet perustuvat ICRU:n määritelmiin. Tietyn alueen tai tilan monitoroinnissa käytettävät suureet ovat vapaa annoskvivalentti $H^*(10)$ ja suunnattu annoskvivalentti $H'(0,07, \Omega)$. Henkilön annoksen monitoroinnissa käytettävä suure on henkilöannoskvivalentti $H_p(d)$, joka on annoskvivalentti kehon pehmytkudoksessa syvyydellä d tietyssä kehon kohdassa. Kehon kohdaksi määritellään usein se paikka, jossa henkilöannosmittaria pidetään. Efektiivisen annoksen arvioimiseksi on valittu henkilöannoskvivalentti syvyydellä 10 mm, $H_p(10)$. Ihon, käsien ja jalkojen annosten arviointia varten on valittu henkilöannoskvivalentti syvyydellä 0,07 mm, $H_p(0,07)$. Syvyyttä $d=3$ mm on ehdotettu silmän mykiön annoksen monitorointiin. Sitä kuitenkin käytetään vain harvoin ja annosta $H_p(0,07)$ voidaan käyttää silmän mykiön annoksen monitorointiin.

yhtä hyvin. Rutiinimonitoroinnissa näiden käyttösuureiden arvoja pidetään riittävän tarkkoina efektiivisen annoksen ja ihoannoksen arviointiin, erityisesti jos arvot alittavat suojelurajat.

Sisäisestä säteilystä saatavan ekvivalenttiannoksen tai efektiivisen annoksen arviointia varten ei ole määritelty käyttösuureita. Radionuklidien saannin arvioimiseksi mitataan kehon sisäisiä radionuklideja eri menetelmin ja käytetään biokineettisiä malleja. Saannista lasketaan ekvivalenttiannos tai efektiivinen annos käyttäen ICRP:n suosittelemia annosmuuntokertoimia (annos saantiyksikköä kohti, Sv Bq⁻¹).

4.4 Säteilyaltistuksen arviointi

4.4.1 Ulkoinen säteilyaltistus

Ulkoisista lähteistä aiheutuvaa säteilyaltistusta arvioidaan yleensä joko mittaamalla yksilöllistä altistusta käyttäen keholla kannettavaa henkilöannosmittaria tai mittaamalla ja arvioimalla vapaata annosekvivalenttia $H^*(10)$ ja käyttämällä muuntokertoimia. Vapaaseen annosekvivalenttiin ja muuntokertoimiin perustuvaa menettelyä käytetään erityisesti kun altistuksen arviointi tehdään etukäteen. Henkilöannosmittauksissa käyttösuureet ovat $H_p(10)$ ja $H_p(0,07)$. Jos henkilöannosmittaria pidetään altistukseen nähden oikeassa paikassa keholla ja olettaen että altistus kohdistuu tasaisesti koko kehoon, $H_p(10)$ antaa säteily-suojelutarkoituksia varten riittävän luotettavan efektiivisen annoksen arvion pienten annosten alueella.

4.4.2 Sisäinen säteilyaltistus

Vaikka sisäisen altistuksen arviointia varten ei ole erityisesti määriteltyjä käyttösuureita, voidaan tällaisena suureena pitää radionuklidien saantia. Saanti voidaan arvioida joko suorilla mittauksilla (esim. suoralla kokokehomittauksella tai jonkin elimen tai kudoksen mittauksella) tai epäsuorilla mittauksilla (esim. virtsan tai ulosteiden mittauksella tai mittaamalla ympäristönäytteitä) ja käyttämällä biokineettisiä malleja. Efektiivinen annos lasketaan näistä tiedoista käyttämällä ICRP:n suosittelemia annosmuuntokertoimia. Muuntokertoimet on määritelty eri-ikäisille väestön henkilöille ja työssään altistuville aikuisille.

Aika, jonka ihmiskehossa olevat radionuklidit säteilyttävät kudoksia, riippuu nuklidien fysikaalisesta puoliintumisajasta, biologisesta käyttäytymisestä ja pidätymisestä kehoon ja siten radionuklidit voivat aiheuttaa kehon kudoksille annosta useita kuukausia tai vuosia saannin jälkeen. Säteilysäteilyannoksen kertymisen arvioimiseksi pitkän ajanjakson aikana käytetään annoskertymä-

käsitettä. Annoskertymä on kehon sisällä olevista radionuklideista saatava kokonaisannos tiettyä aikana.

Ekvivalenttiannoksen kertymä $H_T(\tau)$ kudoksessa tai elimessä on

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt \quad (4.7)$$

missä τ on integrointiaika saantihetken t_0 jälkeen. Efektiivisen annoksen kertymä $E(\tau)$ on

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) \quad (4.8)$$

Annosrajoituksia sovellettaessa ICRP suosittelee, että annoskertymä lasketaan sen vuoden annokseksi, jolloin saanti tapahtuu. Työntekijöille annoskertymä lasketaan tavallisesti 50 vuoden ajalle saannin jälkeen. 50 vuoden kertymäaika kuvaa nuorena työhön tulleen henkilön työuran pituutta. Efektiivistä annoskertymää käytetään myös väestölle koituvan annoksen arvioinnissa ja siinäkin tapauksessa kertymäaika on aikuisilla 50 vuotta. Lapsille annosta oletetaan kertyvän 70 vuoden ikään asti.

Työperäisessä altistuksessa radionuklidien saannin kautta tuleva efektiivinen annos arvioidaan työntekijän saannista käyttäen annosmuuntoker-toimia. Kunkin radionuklidin annoskertoimien laskemiseen on käytetty malleja, joilla kuvataan eri kemiallisessa muodossa olevien radionuklidien tuloa kehoon ja niiden jakaantumista ja pidättymistä. Mies- ja naisfantomeja käyttäen on joukolle lähde-elimä S laskettu se lähde-elimestä lähtevän energian osa, joka absorboituu kohde-elimeseen T. Tällaisten mallien ja arvioiden katsotaan olevan riittävän tarkkoja suurimalle osalle säteilysuojelutilanteita ja -tehtäviä.

Sukupuolen suhteen keskiarvotettu efektiivisen annoksen kertymän kerroin $e(\tau)$ ¹ tietyn radionuklidin saannista lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[\frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \quad (4.9)$$

missä w_T on kudoksen T painotuskerroin ja $h_T^M(\tau)$ ja $h_T^F(\tau)$ ovat kudoksen T ekvivalenttiannoskertymät miehille ja naisille kertymäaikana τ . Kaavan (4.9)

¹ Pienellä kirjaimella kirjoitettuja symboleja e ja h käytetään viittaamaan efektiiviseen annokseen E ja ekvivalenttiannokseen H .

summaan sisältyvät myös ekvivalenttiannoksen kertymien kertoimet muille kudoksille (ks. taulukko III).

4.4.3 Työperäinen altistus

Kun ulkoisen säteilyn aiheuttamaa työperäistä altistusta seurataan mittauksin, mitataan henkilöannosmittareilla henkilöannosekvivalenttia $H_p(10)$. Mitattua arvoa voidaan pitää efektiivisen annoksen arviona, kun oletetaan, että kehon altistus on tasainen. Sisäisen altistuksen tapauksessa efektiivinen annoskertymä määritetään yleensä arvioimalla radionuklidien saantia esimerkiksi mittaamalla kehossa olevaa aktiivisuutta tai virtsan ja/tai ulosteiden mukana päivittäin poistuvien radionuklidien määrää. Annos lasketaan saannista käyttäen ICRP:n suosittelemia annosmuuntokertoimia.

Ulkoisesta ja sisäisestä altistuksesta aiheutunut annos lasketaan yhteen efektiiviseksi kokonaisannokseksi, jonka avulla voidaan valvoa annosrajojen ja annosrajoitusten toteutumista.

$$E \cong H_p(10) + E(50) \quad (4.10)$$

missä $H_p(10)$ on henkilöannosekvivalentti ulkoisesta altistuksesta ja $E(50)$ efektiivinen annoskertymä sisäisestä altistuksesta. $E(50)$ määritellään seuraavasti:

$$E(50) = \sum_j e_{j,\text{inh}}(50) \cdot I_{j,\text{inh}} + \sum_j e_{j,\text{ing}}(50) \cdot I_{j,\text{ing}} \quad (4.11)$$

missä $e_{j,\text{inh}}(50)$ on efektiivisen annoksen kertymän annosmuuntokerroin kun aktiivisuus saadaan hengittämällä radionuklidia j , $I_{j,\text{inh}}$ on hengityksen kautta kehoon joutuneen nuklidin j aktiivisuus, $e_{j,\text{ing}}(50)$ on suun kautta kehoon joutuneen nuklidin j efektiivisen annoksen kertymän annosmuuntokerroin ja $I_{j,\text{ing}}$ suun kautta kehoon joutuneen nuklidin aktiivisuus.

Kaavassa (4.11) käytettävät annosmuuntokertoimet on johdettu ICRP 89:ssä kuvatuista perusmiehen ja perusnaisen anatomisista, fysiologisista ja biokineettisistä ominaisuuksista. Kaavaa käytettäessä täytyy ottaa huomioon kehoon joutuneiden radionuklidien fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, esimerkiksi hengitetyn aerosolin aerodynaamisen halkaisijan aktiivisuusjakauman mediaani (AMAD) ja sen aineen kemiallinen muoto, johon radionuklidi on kiinnittynyt. Työntekijälle rekisteröitävä efektiivinen annos on se annos, jonka perushenkilö saisi kun ulkoinen ja sisäinen säteilyaltistus ovat samat kuin työntekijällä. Annoksen katsotaan voivan kertyä koko henkilön koko 50-vuotisen työelämän aikana (tällä on merkitystä ainoastaan sellaisilla

radionuklideilla, joilla on pitkä fysikaalinen puoliintumisaika ja jotka pidättyvät kehoon pitkäksi ajaksi).

Jos radionuklideja joutuu kehoon kontrolloimattomissa olosuhteissa esim. haavojen kautta, sitä ei voida pitää työkäytäntöjen mukaisena toimintana eikä tällaista altistusta ole huomioitu kaavassa (4.11). Tällaisten tapahtumien merkitys täytyy arvioida ja kirjata ja työntekijän tulee saada asiaankuuluvaa lääketieteellistä hoitoa. Työntekijän lisäältistuksen rajoittaminen voi olla tarpeen.

Joissakin harvinaisissa tapauksissa merkittävä osa ulkoisesta altistuksesta johtuu heikosti läpäisevästä säteilystä. Tällöin ihoannoksen osuus efektiivisestä annoksesta tulee lisätä tekijäksi kaavaan (4.10). Kokonaisannoksen arvioinnissa voi myös olla tarpeen ottaa huomioon radonin isotoopeista ja niiden hajoamistuotteista syntyvä säteilyannos. Radonin isotoopeista tärkein on Rn-222 (ICRP 65).

Tietyissä tapauksissa, joissa henkilökohtaista annosmittausta ei tehdä (esim. lentohenkilökunta), efektiivinen annos voidaan arvioida käyttäen vapaan annosekvivalentin $H^*(10)$ arvoja ja tietoja säteilykentästä. Efektiivinen annos on mahdollista laskea myös suoraan säteilykenttätiedoista.

4.4.4 Väestöaltistus

Efektiivinen annos väestön yksilöille arvioidaan samojen periaatteiden mukaisesti kuin työssään säteilylle altistuvilla työntekijöillä. Väestöön kuuluvan henkilön vuotuinen efektiivinen annos on yhden vuoden aikana saadun ulkoisen altistuksen ja kehoon joutuvien radionuklidien aiheuttaman annoskertymän summa. Annosta ei määritetä henkilön altistuksen suoralla mittauksella, kuten työperäisen altistuksen ollessa kyseessä, vaan yleensä päästö- ja ympäristömittausten, väestön elintapatietojen ja mallinnuksen avulla. Radioaktiivisista päästöistä johtuva komponentti voidaan arvioida käyttäen olemassa olevien laitosten päästömittauksia tai arvioimalla suunnitteluvaiheessa olevien laitosten tai muiden säteilylähteiden päästöjä. Sekä ulkoisen että sisäisen säteilyaltistuksen arvioimiseksi käytetään tietoja pitoisuuksista päästöissä ja ympäristössä sekä radioekologista mallinnusta (radionuklidien kulkeutuminen ympäristössä ilman, veden, maaperän, sedimentin, kasvien ja eläinten kautta ihmiseen).

4.4.5 Potilaiden lääketieteellinen altistus

Potilaiden säteilyaltistuksen suunnittelussa ja optimoinnissa sopivat suuret ovat säteilytettävien kudosten ekvivalenttiansos tai absorboitunut annos. Potilaiden lääketieteellisen altistuksen arvioinnissa efektiivistä annosta

voidaan käyttää hyvin rajoitetusti, koska elimet ja kudokset altistuvat vain osittain tai hyvin heterogeenisesti. Näin tapahtuu erityisesti röntgendiagnostiikassa. Toisaalta efektiivisen annoksen käytöstä voi olla hyötyä verrattaessa erilaisia diagnostisia menetelmiä, samanlaisten menetelmien käyttöä eri sairaaloissa ja maissa tai eri tekniikoiden käyttöä samassa lääketieteellisessä tutkimuksessa.

4.4.6 Efektiivisen annoksen soveltaminen

Tärkeimmät efektiivisen annoksen käyttöalueet työntekijöiden ja väestön säteilysuojelussa ovat 1) etukäteen tehtävät annosarviot säteilysuojelun suunnittelua ja optimointia varten, ja 2) taannehtivat annosarviot sen osoittamiseksi että annosrajoja on noudatettu tai 3) kun saatuja annoksia verrataan annosrajoituksiin tai enimmäistasoihin.

Efektiivisiä annoksia käytetään säteilysuojelussa stokastisten vaikutusten riskin hallintaan. Efektiivisen annoksen tai sitä vastaavan annosmuuntokertoimien laskeminen ulkoisessa altistuksessa ja annosmuuntokertoimien laskeminen sisäisessä altistuksessa perustuvat absorboituneeseen annokseen ja painotuskertoimiin (w_R ja w_T) sekä ihmiskehoa ja sen elimiä ja kudoksia kuvaaviin referenssiarvoihin. Efektiivinen annos ei perustu yksittäisistä henkilöistä saataviin tietoihin eikä sen laskeminen tuota yksilökohtaista annosta vaan perushenkilön annoksen tietyssä altistustilanteessa.

Joissakin tilanteissa voidaan efektiivisen annoksen laskemisessa käyttää muita parametreja kuin referenssiarvoja. On tärkeää erottaa toisistaan ne parametrien arvot, jotka voidaan tietyn altistustilanteen arvioinnissa muuttaa, niistä, joita ei voida muuttaa, koska ne ovat osa efektiivisen annoksen määrittelmää (esim. painotuskertoimet). Työperäistä altistusta arvioitaessa voidaan muuttaa esimerkiksi ulkoiseen säteilykenttään liittyviä parametreja, kuten säteilyn suuntaa tai hengityksen ja nautinnan kautta saatujen radionuklidien fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Poikkeaminen referenssiarvojen käytöstä on silloin selvästi ilmoitettava.

Jos jälkikäteen tehdyssä arvioinnissa näyttää siltä että joidenkin henkilöiden annokset voisivat huomattavasti ylittää annosrajat, efektiivisen annoksen avulla voidaan saada ensimmäinen arvio kokonaishaitasta. Säteilyannoksen ja riskin tarkempaan arviointiin on käytettävä elin- ja kudiskohtaisia riskiarvioita.

Efektiivinen annos perustuu referenssiarvoihin ja on tarkoitettu käytettäväksi suojelusuureena eikä sitä tulisi käyttää epidemiologisiin tutkimuksiin eikä jälkikäteen tehtyihin yksilön altistuksen ja riskin tutkimiseen. Näissä tapauksissa tulisi käyttää absorboitunutta annosta ja soveltuvia tietoja biologisesta

tehokkuudesta ja riskitekijöistä. Arvioitaessa syövän syntymisen todennäköisyyttä tulee käyttää elinten ja kudosten annoksia eikä efektiivistä annosta.

Efektiivinen annos ei sovellu myöskään kudosreaktioiden arviointiin. Niissä tapauksissa arvioidaan absorboitunut annos, käytetään soveltuvaa RBE-arvoa ja tehdään niiden pohjalta säteilyn vaikutusten arviointi.

4.4.7 Kollektiivinen efektiivinen annos

Kollektiivinen annos otettiin käyttöön pääasiassa työperäisen altistuksen säteilysuojelun optimointia varten. Kollektiivista ekvivalenttiannosta käytetään vain erikoistilanteissa ja ICRP käsittelee näissä uusissa suosituksissa vain kollektiivista efektiivistä annosta. Kollektiivinen efektiivinen annos, S , on jonkun ryhmän kaikkien yksilöiden efektiivisten annosten summa tarkasteltavana ajanjaksona tai toimenpiteen aikana. Kollektiivisen efektiivisen annoksen yksikön nimi on *mansievert* (manSv).

Kollektiivinen efektiivinen annos, S , perustuu oletukseen, että annosvaikutussuhde on kynnyksetön ja lineaarinen (LNT-malli). Tämän oletuksen perusteella voidaan katsoa, että efektiivisiä annoksia voidaan laskea suoraan yhteen.

Kollektiivista efektiivistä annosta käytetään optimoinnissa säteilyn käyttöön liittyvien teknologioiden ja suojelutoimenpiteiden vertailussa. Kollektiivista efektiivistä annosta ei ole tarkoitettu epidemiologisen riskiarvioinnin työvälineeksi eikä sitä pidä käyttää riskin ennustamiseen, koska kollektiivisen efektiivisen annoksen laskemisessa tehtyihin oletuksiin (esimerkiksi LNT-mallin käyttö) liittyy hyvin suuria biologisia ja tilastollisia epävarmuuksia. Erityisesti syöpäkuolemien laskeminen mitättömien yksilöannosten muodostaman kollektiivisen efektiivisen annoksen perusteella ei ole asiallista ja sitä tulisi välttää.

Jotta välttyttäisiin epäasialliselta annosten yhteen laskemiselta, esim. hyvin pienten yksilöannosten laskemista yhteen pitkien ajanjaksojen yli ja laajalla maantieteellisellä alueella, kollektiivisen annoksen käytölle täytyy asettaa rajoituksia: annoksen vaihteluväli ja altistuksen ajanjakso täytyy määritellä. Kollektiivinen efektiivinen annos, joka muodostuu annosvälillä E_1 ja E_2 olevista efektiivisistä yksilöannoksista on

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE \quad (4.12)$$

missä $(dN/dE)dE$ tarkoittaa niiden henkilöiden lukumäärä, joiden aikavälillä ΔT saama efektiivinen annos on suuruudeltaan E :n ja $(E+dE)$:n välillä. Kun yksittäiset annokset jakaantuvat useiden kertaluokkien alueelle, jakaumaa

täytyy tarkentaa jakamalla se useampaan suuruusluokkaan, jotka eivät saa olla suurempia kuin kaksi–kolme kertaluokkaa. Henkilöiden lukumäärä, keskimääräinen yksilöannos ja epävarmuustekijät tulee käsitellä erikseen joka suuruusluokassa.

4.5 Päätelyt ja epävarmuudet

Säteilyannoksia arvioitaessa tarvitaan malleja kuvaamaan ulkoisen altistuksen geometriaa, radionuklidien saannin ja pidättymisen biokinetiikkaa ihmiskehossa ja ihmisen anatomiaa. Useissa tapauksissa näiden mallien ja parametrien arvojen kehittämisessä on käytetty kokeellisia tutkimuksia ja ihmiskokeita 'parhaan arvion' tai 'keskimääräisen arvion' saamiseksi. Samanlaista menettelytapaa on käytetty kudosten ja säteilyn painotuskertoimien valinnassa. Joidenkin parametrien arvoissa ja itse mallien kaavoissa on huomattavia epävarmuuksia, ja tarvitaan harkintaa kun annosarviota varten valitaan parhaita malleja ja parametriarvoja.

Epävarmuus kuvaa tietyn parametrin arvon tai mallilla saatavan tuloksen luotettavuutta. Se on tärkeä tekijä kaikessa mallinnuksessa ja sitä arvioitaessa on otettava huomioon yksittäisten parametrien vaihtelu ja mittausten tarkkuus. Mittausten ja päätelmien tarkkuus huononee annosten pienentyessä ja systeemin monimutkaistuessa. Vaihtelulla tarkoitetaan tarkasteltavan ihmisryhmän yksilöiden välisiä kvantitatiivisia eroja. Kaikki nämä näkökohdat otetaan huomioon malleja kehitettäessä ja päätelmiä tehtäessä.

Parametrien ja määriteltyjen olosuhteiden luotettavuus ja tarkkuus vaihtelevat eri säteilyannosmalleissa. Vaikka epävarmuuksien arviointi on tärkeä osa mallien kehitystä ja työtä tehdään epävarmuuksien pienentämiseksi, ICRP:n malleille ei em. syystä yleensä anneta epävarmuusarvioita. Erityistapauksissa voi epävarmuuksien arviointi olla tarpeen. Yleisesti voidaan sanoa, että sisäisen säteilyaltistuksen arviointiin ja radionuklidien biokinetiikkaan liittyvät epävarmuudet ovat suurempia kuin ulkoisen altistuksen arviointiin liittyvät epävarmuudet. Epävarmuuden suuruus riippuu myös tarkasteltavasta radionuklidista.

Dosimetriset mallit ja parametrien arvot, joita ICRP suosittelee valvontatarkoituksiin, on tarkoitettu referenssiarvoiksi. Niiden arvot perustuvat sopimuksiin eikä niihin siten katsota liittyvän epävarmuutta. Samoin ICRP katsoo, että biokineettiset ja dosimetriset mallit, joita käytetään annosarvioihin, ovat referenssimenetelmiä, eikä niihinkään liitetä epävarmuutta. Malleja arvioidaan aika ajoin uudelleen ja niitä voidaan muuttaa sitä mukaa kun uutta tieteellistä tietoa saadaan.

Annosrajojen noudattamista valvotaan arvioimalla perushenkilön efektiivistä annosta eikä näihin arvionteihin siten liitetä epävarmuuksia. Kun

annoksia arvioidaan taannehtivasti ja kun näyttää siltä, että annokset voisivat lähestyä annosrajoja tai ylittää ne, voi olla tarpeen tehdä yksilöllisiä annos- ja riskiarvioita ja ottaa huomioon myös epävarmuudet.

Vaikka näissä uusissa suosituksissa on tehty muutoksia dosimetrisiin malleihin ja efektiivisen annoksen laskemiseen ICRP 60:een verrattuna, aikaisempia efektiivisen annoksen ja ekvivalenttiannoksen arvioita voidaan pitää pätevinä eikä ICRP suosittele niiden uudelleen laskemista uusia malleja ja parametreja käyttäen.

5 Ihmisen säteilysuojelu

Jokainen ihminen altistuu sekä luonnonsäteilylle että keinotekoiselle säteilylle. Altistumisen syitä voidaan kuvailla *tapahtumien ja tilanteiden verkostona*. Verkoston jokainen osa alkaa säteilylähteestä. Tämän jälkeen säteily tai säteilevä aine kulkeutuu ympäristön tai muun altistusreittein kautta ja aiheuttaa ihmiselle altistusta. Ihmistä voidaan suojella lähteeseen tai altistusreittiin kohdistuvilla toimenpiteillä tai joskus myös muuttamalla altistuvien ihmisten elinpaikkaa tai -tapoja.

Koska LNT-mallin mukaan stokastisten vaikutusten riski kasvaa samassa suhteessa kuin annos kasvaa, altistukseen johtavien tapahtumien ja tilanteiden osia voidaan käsitellä erikseen ja valikoida ne osat, jotka tiettyssä tilanteessa ovat tärkeimpiä. Siihen, mitkä osat valikoidaan toimenpiteiden kohteiksi, vaikuttavat monet seikat ja siksi ICRP ehdottaa kahta yksinkertaistusta avuksi säteilytilanteiden hallintaan.

Ensinnäkin yksilöön kohdistuva säteilyaltistus jaetaan useampaan altistustyyppiin, joita voidaan käsitellä erikseen: työperäiseen altistukseen, potilaiden lääketieteelliseen altistukseen ja väestöaltistukseen. Esimerkiksi työssään altistuvat henkilöt altistuvat myös ympäristössä oleville säteilylähteille osana väestöä ja saavat potilaina lääketieteellistä altistusta. Muiden lähteiden aiheuttaman altistuksen ei tarvitse vaikuttaa työperäisen altistuksen valvontaan. ICRP suosittelee, ettei yksilölle näistä kolmesta erityyppisestä altistustavasta aiheutuvaa annosta lasketa yhteen valvontatarkoituksessa.

Toiseksi lähdekohtainen altistus ja yksilön kokonaisaltistus erotetaan käsitteellisesti (kappale 5.5.). Lähdekohtaisessa arvioinnissa jokaista altistuslähdettä tai -lähderyhmää voidaan käsitellä erikseen. Toisaalta täytyy tarkastella myös kaikkia kyseiselle lähteelle tai lähderyhmälle altistuvia yksilöitä.

ICRP 60:ssä jaettiin altistustavat kahteen luokkaan, toimintaan ja interventioon. Toiminnaksi luokiteltiin ihmisen toimenpiteet, jotka lisäävät altistusta joko siksi, että

- otetaan käyttöön uusia lähteitä tai altistusreittejä tai
- lisätään altistuvien ihmisten määrää tai
- muutetaan olemassa olevista lähteistä tulevia altistusreittejä siten, että yksilöiden altistus tai altistuvien yksilöiden lukumäärä kasvaa.

Interventioksi määriteltiin ihmisten toimenpiteet, jotka vähentävät kokonaisaltistusta vaikuttamalla olemassa olevaan altistumistapojen verkostoon. Interventiossa voidaan poistaa olemassa olevia lähteitä, muuttaa altistus-

teitä tai pienentää altistuvien henkilöiden lukumäärää. Uusissa ICRP:n suosituksissa on siirrytty edellä kuvatusta toimintaperustaisesta lähestymistavasta tilanneperusteiseen, jossa säteilyaltistustilanteet jaetaan kolmeen ominaispiirteiltään erilaiseen luokkaan, nimittäin suunniteltuun altistustilanteeseen, säteilyvaaratilanteeseen ja vallitsevaan altistustilanteeseen (katso 5.2).

5.1 Lähteen määritelmä

ICRP käyttää nimitystä *lähde* kuvaamaan mitä tahansa aineellista kokonaisuutta tai toimenpidettä, joka voi aiheuttaa säteilyannoksen jollekin henkilölle tai henkilöryhmälle. Se voi olla säteilylähde (esim. radioaktiivinen aine tai röntgenlaitte), laitos (esim. sairaala tai ydinvoimalaitos), toimenpiteet (esim. isotooppi lääketieteen toimenpiteet) tai ryhmä lähteitä, joilla on samanlaisia ominaispiirteitä (esim. taustasäteily tai ympäristön radioaktiivisuus). Jos radioaktiivisia aineita päästetään jostakin laitoksesta ympäristöön, laitos kokonaisuudessaan voidaan määritellä lähteeksi. Jos radioaktiiviset aineet ovat jo levinneet ympäristöön, se osa niistä, joille ihmiset altistuvat, voidaan katsoa lähteeksi. Useimmissa tapauksissa yksi altistuslähde on tietyllä yksilöllä muita tärkeämpi ja siten suojelutoimenpiteiden suunnittelussa lähteitä voidaan käsitellä yksittäisinä.

Yleensä lähteen määrittäminen liittyy sopivan suojelustrategian valintaan optimointia varten. Noudattamalla ICRP:n suojeluperiaatteita voivat säteilysuojeluviranomainen ja lähteen käyttäjä (jos sellainen voidaan määrittellä) saavuttaa yksimielisyyden lähteen määrittelyssä. Lähde ei esimerkiksi pidä jakaa keinoitekoisesti osiin, jotta suojelutoimenpiteitä ei tarvitsisi tehdä. Toisaalta ei myöskään perusteettomasti pidä ryhmittää lähteitä yhteen suojelun tarpeen liioittelemiseksi.

5.2 Altistustilanteet

ICRP:n suositukset on tarkoitettu sovellettaviksi kaikkiin lähteisiin ja altistustilanteisiin. Seuraavilla kolmella altistustilannetyypillä voidaan kattaa kaikki ajateltavissa olevat olosuhteet:

Suunnitellut altistustilanteet

Säteilylähteen suunnitelman mukainen käyttöönotto ja käyttö. Suunnitellussa altistustilanteessa altistus voi olla ennakoitavaa (normaali altistus) tai sellaista, ettei altistusta voida varmuudella ennakoida tulevaksi (potentiaalinen altistus, luku 6.1.3).

Säteilyvaaratilanteet

Odottamattomia, esimerkiksi suunnitellun altistustilanteen aikana ilmeneviä tai pahantahtoisesta toiminnasta tai muista odottamattomista syistä aiheutuvia tilanteita, jotka vaativat kiireellisiä toimenpiteitä haitallisten seurausten välttämiseksi tai vähentämiseksi.

Vallitsevat altistustilanteet

Tilanteet, jotka ovat jo olemassa kun päätös valvonnasta on tehtävä. Vaaratilanteen jälkeinen pitkittynyt altistustilanne katsotaan vallitsevaksi altistustilanteeksi.

Potilaiden lääketieteellinen altistus on suunniteltu altistustilanne, mutta sen erityispiirteiden vuoksi sitä käsitellään erikseen. Vallitsevissa altistustilanteissa ja säteilyvaaratilanteissa työperäiselle altistukselle sovelletaan suunniteltua altistustilannetta koskevia suojeluperiaatteita.

5.3 Altistustyyppit

Altistustyyppit jaetaan kolmeen ryhmään: työperäinen altistus, väestöaltistus ja potilaiden lääketieteellinen altistus. Potilaiden tukihenkilöiden ja tieteellisiin tutkimuksiin osallistuvien vapaaehtoisten altistusta käsitellään luvussa 7.

5.3.1 Työperäinen altistus

ICRP määrittelee työperäiseksi altistukseksi kaiken työntekijälle työstä aiheutuvan säteilyaltistuksen. Työperäisen altistuksen yleinen määritelmä kattaa altistuksen kaikille vahingollisille aineille riippumatta niiden lähteestä. Koska säteilyä on joka paikassa, tämän määritelmän mukaisesti kaikkien työntekijöiden pitäisi kuulua säteilysuojelun piiriin. Siksi ICRP rajoittaa työperäisen altistuksen vain sellaisissa työtilanteissa aiheutuvaan säteilyaltistukseen, joka voidaan katsoa olevan toiminnan harjoittajan johdon vastuulla. Säädösten ulkopuolelle rajattua (excluded exposures) altistusta ja altistusta, joka aiheutuu valvonnasta vapautetuista toiminnoista tai lähteistä (exempt practices and sources) ei yleensä tarvitse ottaa huomioon työperäisessä altistuksessa.

Työnantajalla on päävastuu työntekijöiden suojelusta. Kuitenkin lähteestä vastuussa oleva luvanhaltija (jos ei ole sama kuin työnantaja) on myös vastuussa työntekijöiden suojelusta. Jos työolosuhteisiin liittyy tai voi liittyä lähde, joka ei ole työnantajan valvonnassa, lähteen luvanhaltijan ja työnantajan tulee vaihtaa tietoja ja muutenkin tehdä yhteistyötä niin, että asianmukainen säteilysuojelu toteutuu työpaikalla.

5.3.2 Väestöaltistus

Väestöaltistukseksi katsotaan kaikki väestöön kohdistuva altistus lukuun ottamatta työperäistä altistusta ja potilaiden lääketieteellistä altistusta (kappale 5.3.3.). Väestöaltistusta aiheutuu mitä erilaisimmista säteilylähteistä. Luonnonsäteilyn osuus kaikesta altistuksesta on ehdottomasti suurin, mutta se ei oikeuta jättämään huomiotta ihmisten aiheuttamaa säteilyaltistusta, jota taas on helpompi säädellä. Raskaana olevien työntekijöiden sikiön altistusta valvotaan kuten muutakin väestöaltistusta.

5.3.3 Potilaiden lääketieteellinen altistus

Lääketieteessä säteilyä käytetään taudin määrittämisessä, toimenpiteissä ja sädehoidossa. Lääketieteellisissä sovelluksissa on monia piirteitä, joiden vuoksi säteilysuojelu on erilaista kuin muissa suunnitelluissa altistustilanteissa. Altistus on tarkoituksellista ja siitä on suoraa hyötyä potilaalle. Erityisesti sädehoidossa suurten säteilyannosten biologisia vaikutuksia, solukuolemaa, käytetään potilaan hyödyksi syövän tai muiden sairauksien hoitoon. Suosituksia säteilyn lääketieteellisestä käytöstä on erikseen luvussa 7, jossa käsitellään myös potilaiden tukihenkilöiden ja tieteellisiin tutkimuksiin osallistuvien vapaaehtoisten henkilöiden säteilysuojelua.

5.4 Altistuvien henkilöiden tunnistaminen

Altistuvat henkilöt jaetaan kolmeen eri ryhmään: työntekijöihin, väestöön ja potilaisiin. Ryhmiä käsitellään tässä erikseen, mutta kukin yksilö voi altistua kaikilla kappaleessa 5.3. nimetyillä altistumistavoilla.

5.4.1 Työntekijät

Työntekijäksi määritellään jokainen henkilö, joka työskentelee koko- tai osaaikaisesti tai tilapäisesti jonkun työnantajan palveluksessa ja jolla on työntekijöiden säteilysuojeluun liittyviä oikeuksia tai velvollisuuksia. Elinkeinon- tai ammatinharjoittajaa koskevat sekä työnantajan että työntekijän velvollisuudet. Työntekijät säteilyn lääketieteeseen käyttöön liittyvissä ammateissa altistuvat työperäisesti säteilylle.

Työnantajan, luvanhaltijan tai molempien velvollisuutena on huolehtia säteilylähteiden valvonnasta ja työperäisesti altistuvien työntekijöiden suojelusta. Valvonnan toteuttamista varten ICRP suosittelee mieluummin työskentelyalueiden kuin työntekijöiden luokittelua. Alueet luokitellaan *valvonta- ja tarkkailualueiksi*. Valvonta-alue määritellään alueeksi, jossa normaaleissa

altistustilanteissa on noudatettava erityisiä turvajärjestelyjä ja turvallisuusohjeita työntekijöiden suojelemiseksi säteilyltä ja potentiaalisen altistuksen ehkäisemiseksi ja rajoittamiseksi sekä radioaktiivisen kontaminaation leviämisen ehkäisemiseksi. Tarkkailualue on alue, jolla työolosuhteita tarkkaillaan työntekijöiden suojelemiseksi säteilyltä, vaikka erityisiä suojelutoimenpiteitä ei tavallisesti tarvitakaan. Valvonta-alue on usein tarkkailualueen sisäpuolella, mutta niin ei tarvitse välttämättä olla.

Valvonta-alueilla työskentelevien työntekijöiden tulee olla hyvin informoituja ja erityiskoulutettuja ja heidän tulee muodostaa helposti tunnistettava ryhmä. Heidän säteilyaltistustaan yleensä mitataan ja heillä voi joskus olla erityinen terveystarkkailu.

Raskaana olevien ja imettävien työntekijöiden altistus

ICRP:n mielestä työperäisen altistuksen valvonnassa ei ole mitään syytä erotella eri sukupuolia. Kuitenkin, kun naispuolinen työntekijä on ilmoittanut työnantajalle olevansa raskaana, on harkittava tarvitaanko toimenpiteitä sikiön suojelemiseksi. Raskaana olevaa naista tulisi suojella työssä siten, että sikiölle taataan sama suoja kuin väestölle yleensä. ICRP katsoo, että suojele toteutuu, jos äidin säteilyaltistus ennen raskaudesta ilmoittamista on ollut ICRP:n suositusten mukainen. Kun äiti on ilmoittanut raskaudestaan, hänen työolosuhteidensa tulee olla sellaiset, että ilmoituksen jälkeen sikiölle aiheutuva annos ei ole 1 mSv:ä suurempi raskauden jäljellä olevana aikana. Lisäohjeita sikiön suojaamiseksi säteilyltä on kappaleessa 7.4.

Sikiön annoksen rajoittaminen ei tarkoita sitä, että raskaana olevien naisten olisi kokonaan vältettävä työskentelyä säteilyn tai radioaktiivisten aineiden kanssa, tai että heiltä pitäisi estää pääsy valvonta- tai tarkkailualueille. Työnantajan tulee kuitenkin huolellisesti arvioida raskaana olevan naisen altistusolosuhteet. Tarpeen vaatiessa heidän työolosuhteitaan tulee raskauden aikana muuttaa siten, että onnettomuuden tai radionuklidien saannin todennäköisyys on erittäin pieni. Raskaana olevien työntekijöiden altistuksen valvonnasta annetaan erityisohjeita julkaisuissa ICRP 84 ja 88. Julkaisussa ICRP 95 käsitellään vastasyntyneelle lapselle aiheutuvan annoksen laskemista, jos imettävä äiti on saanut sisäisesti radionuklideja. ICRP myös painottaa, että sikiön ja vastasyntyneen lapsen suojelemiseksi odottavien tai imettävien äitien ei pitäisi osallistua säteilyvaaratilanteissa tehtäviin toimenpiteisiin, jos niissä voi aiheutua suuria annoksia (ICRP 96).

Julkaisussa ICRP 88 on annoskertoimet alkiolle, sikiölle ja vastasyntyneelle lapselle, kun äiti on saanut sisäisesti radionuklideja ennen raskautta tai sen aikana. Yleensä annokset alkiolle, sikiölle ja vastasyntyneelle ovat samansuuruisia tai pienempiä kuin perusnaiselle. Samoin useimmista radionuklideista

äidinmaidon kautta lapselle aiheutuneet annokset ovat pieniä perusnaisten annokseen verrattuna (ICRP 95).

Altistuminen lentotoiminnassa ja avaruudessa

ICRP 60:ssä suositeltiin, että kosminen säteily katsotaan työperäiseksi altistukseksi kaupallisessa lentotoiminnassa ja avaruuslennoilla. Julkaisussa ICRP 75 suositusta selvennettiin ja todettiin, että runsaasti lentävien matkustajien altistusta ei ole tarpeen valvoa työperäisenä altistuksena. Ainoastaan lentohenkilöstön altistuksen valvonta tulisi kyseeseen. Jo tuohon aikaan ICRP totesi, että ainoa käytännöllinen tapa, jolla lentohenkilökunnan altistusta voitiin valvoa, oli lentoajan ja -reittien perusteella tehtävä henkilökohtaisen altistuksen valvonta. ICRP on edelleen samaa mieltä tästä asiasta.

Avaruuslentojen yhteydessä kosmisesta säteilystä aiheutuvat annokset voivat olla huomattavan suuria ja jonkinlainen valvonta tarpeellista. Ne tapaukset tulisi käsitellä erikseen ja tällöin tulisi ottaa huomioon erikoisolosuhteet.



5.4.2 Väestö

ICRP määrittelee väestöön kuuluvaksi henkilöksi jokaisen yksilön, joka altistuu säteilylle, joka ei ole työperäistä eikä lääketieteellistä. Väestö altistuu monenlaisille luonnonsäteilyn ja keinotekoisien säteilyn lähteille.

Yleisestikin, mutta erityisesti väestöaltistuksen kyseessä ollen, jokainen lähde aiheuttaa annoksia monille henkilöille. Väestön säteilysuojelussa ICRP on käyttänyt *kriittisen ryhmän* käsitettä kuvaamaan sellaisia yksilöitä, joille aiheutuva annos on tyypillinen eniten altistuvalla osalla väestöstä. Annosten rajoittamista on sovellettu kriittisen ryhmän keskimääräiselle annokselle. Kriittisen ryhmän käsitteen käytöstä on hyviä kokemuksia, mutta itse termiä pidetään harhaanjohtavana. Sana *kriittinen* liitetään usein kriisiin, jota sillä ei ole tarkoitettu ja sana *ryhmä* voi olla hämmentävä, kun kuitenkin arvioidaan yksilön annosta.

ICRP suosittelee nyt *edustavan henkilön* käsitteen käyttämistä väestön säteilysuojelussa entisen kriittisen ryhmän käsitteen sijaan. Ohjeita edustavan henkilön määrittelemiseen ja annoksen arviointiin on julkaisussa ICRP 101.

Edustava henkilö voi olla kuvitteellinen ja sen kuvailemisessa käytettyjen elintapojen (esim. ravinnon käyttö, hengitystiheys, elinpaikka, paikallisten tuotteiden käyttö) tulee olla tyypillisiä eniten altistuvaa väestöä edustavalle pienelle joukolle yksilöitä eikä jollekin yksittäiselle henkilölle, jonka elintavat menevät äärimmäisyyksiin. Joihinkin äärimmäisiin elintapoihin voidaan kiinnittää huomiota, mutta niistä ei pidä tehdä edustavan henkilöä määräviä piirteitä.

Annosrajat	Annosrajoitukset ja enimmäistasot
Suojellaan yksittäisiä työntekijöitä työperäiseltä altistukselta ja edustavaa henkilöä väestöaltistukselta	
	
Kaikista valvotuista lähteistä suunnitelluissa altistustilanteissa	Yksittäisestä lähteestä kaikissa altistustilanteissa

Kuva 3. Annosrajojen sekä annosrajoitusten ja toimenpiderajojen käsitteelliset erot työntekijöiden ja väestön yksilöiden suojelussa.

5.4.3 Potilaat

ICRP määrittelee potilaiksi henkilöt, jotka altistuvat säteilylle taudin määrittämisessä, toimenpiteissä ja sädehoidossa. Annosrajoja ja annosrajoituksia ei suositella käytettäväksi yksittäisten potilaiden kohdalla, koska se voisi vähentää potilaan diagnoosin tarkkuutta tai hoidon tehokkuutta ja siten aiheuttaa enemmän haittaa kuin hyötyä. Sen vuoksi painotetaan lääketieteellisen toimenpiteen oikeutusta ja suojelun optimointia sekä potilaan säteilyaltistuksen vertailutasojen käyttöä (luku 7).

Raskaana olevan potilaan suojelua käsitellään kappaleessa 7.4.

5.5 Säteilysuojelun tasot

ICRP 60 suosituksissa todettiin, että mikäli yksilön annos on selvästi säteilyn suorien haittavaikutusten kynnysarvon alapuolella, yksittäisen lähteen vaikutus yksilön annokseen on riippumaton muiden lähteiden vaikutuksesta. Kutakin lähdettä tai lähteiden ryhmää voidaan käsitellä omana yksikkönään, ja siten on välttämätöntä tarkastella kyseisen lähteen tai lähteiden ryhmän ihmisille aiheuttamaa altistusta. Lähdekohtainen tarkastelu on tarpeen, koska kuhunkin lähteeseen voidaan erikseen kohdistaa toimenpiteitä yksilöiden suojelemiseksi.

Suunnitelluissa altistustilanteissa tietystä lähteestä yksilöön kohdistuvaa altistusta rajoitetaan lähdekohtaisella *annosrajoituksella*. Potentiaalisen annoksen kyseessä ollen vastaava käsite on *riskirajoitus*. Säteilyvaaratilanteessa ja vallitsevassa altistustilanteessa lähdekohtaista rajoitusta kutsutaan *enimmäistasoksi* (luvut 5.9, 6.2 ja 6.3). Annosrajoitus- ja enimmäistasokäsitteitä käytetään suojelun optimoinnissa, kun pyritään varmistamaan että altistus

pidetään niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista, ottaen huomioon yhteiskunnalliset ja taloudelliset tekijät. Ne ovat optimoinnin avaintekijöitä kun vallitsevissa oloissa halutaan saavuttaa sopiva suojelun taso.

Silloinkin kun on useita eri lähteitä, yksi niistä on yleensä muita tärkeämpi, ja sitä koskevan sopivan enimmäistason tai annosrajoituksen valitseminen riittää takaamaan suojelun. ICRP katsoo, että annosrajoituksen tai enimmäistason alapuolella suoritettu lähdekohtainen optimointi on tehokkain suojelumenetelmä kaikissa olosuhteissa.

Suunnitelluissa altistustilanteissa tarvitaan erilliset rajoitukset työperäiselle kokonaisaltistukselle ja väestön kokonaisaltistukselle. Yksilön kokonaisaltistuksen rajoituksia kutsutaan *annosrajoiksi* (luku 5.10) ja vastaavaa annosarviointia *yksilökohtaiseksi annosarvioinniksi*. Yleensä ei kuitenkaan ole mahdollista arvioida yksilön kokonaisaltistusta kaikista lähteistä. Siksi erityisesti väestöaltistuksen tapauksessa on tarpeen tehdä likimääräinen arvio, jota voidaan verrata kvantitatiiviseen annosrajaan. Työperäisessä altistuksessa päästään todennäköisesti parempaan arvioon, koska työnjohdolla on käytettävissään tiedot kaikista kyseeseen tulevista lähteistä ja niistä koituvista annoksista.

Kuva 3 esittää käsite-eroja suunnitelluissa altistustilanteissa käytettävien yksilön annosrajojen ja kaikissa altistustilanteissa käytettävien lähdekohtaisten annosrajoitusten ja enimmäistasojen välillä.

5.6 Säteilysuojelun periaatteet

ICRP:n uusissa suosituksissa sovelletaan säteilysuojelun perusperiaatteita (*oikeutus-, optimointi- ja yksilönsuojaperiaatteita*) suunniteltuihin altistustilanteisiin, säteilyvaaratilanteisiin ja vallitseviin altistustilanteisiin.

Oikeutus- ja optimointiperiaatteet ovat lähdekohtaisia ja niitä sovelletaan kaikkiin altistustilanteisiin.

- **Oikeutusperiaate:** Jokaisesta päätöksestä, joka muuttaa säteilyaltistustilannetta, pitäisi koitua enemmän hyötyä kuin haittaa.

Tämä tarkoittaa, että kun uusi säteilylähde otetaan käyttöön tai kun pienennetään olemassa olevaa altistusta tai potentiaalista altistuksen riskiä, täytyisi yksilölle tai yhteiskunnalle tulevan hyödyn olla riittävän suuri toimenpiteestä koituvan haitan korvaamiseksi.

- **Suojelun optimoinnin periaate:** Altistumistapahtumien todennäköisyys, altistuvien henkilöiden lukumäärä ja heidän annostensa suuruus

olisi kaikki pidettävä niin pienenä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista, kun taloudelliset ja yhteiskunnalliset tekijät otetaan huomioon.

Tämä tarkoittaa, että suojelun tason olisi oltava paras mahdollinen vallitsevissa olosuhteissa, niin että hyödyn ja haitan ero olisi mahdollisimman suuri. Jotta optimointiprosessin tulokset eivät tuottaisi vakavaa eriarvoisuutta, yksilöille tietystä lähteestä tulevaa annosta tai riskiä täytyy rajoittaa annos- tai riskirajoituksilla ja enimmäistasoilla.

Kolmas perusperiaate on yksilökeskeinen ja sitä sovelletaan suunniteltuihin altistustilanteisiin.

- **Annosrajojen soveltamisen periaate (yksilönsuojaperiaate):** Kenenkään annos valvotuista lähteistä suunnitellussa altistustilanteessa, lukuun ottamatta lääketieteellistä altistusta, ei saisi ylittää ICRP:n suosittelemia rajoja. Säteilysuojeluviranomainen määrittelee valvonnassa käytettävät annosrajat ottaen huomioon kansainväliset suositukset ja soveltaa niitä suunnitelluissa altistustilanteissa työntekijöihin ja väestöön.

5.7 Oikeutus

Kun harkitaan toimenpiteitä, joihin liittyy säteilyaltistuksen kasvaminen tai pieneneminen tai potentiaalisen altistuksen riski, toimenpiteistä odotettavissa oleva muutos säteilyn aiheuttamassa haitassa tulisi ehdottomasti ottaa huomioon päätöksentekoprosessissa. Tarkasteltavat seuraukset eivät rajoitu vain säteilyyn liittyviin – mukana ovat myös muut riskit ja kaikki toimenpiteiden aiheuttamat haitat ja hyödyt. Joskus säteilyhaitta on vain pieni osa kokonaisuudesta. Siten kysymys oikeutuksesta menee säteilysuojelun ulkopuolelle eikä parhaan vaihtoehdon etsiminen kuulu säteilysuojeluviranomaisten vastuulle. ICRP suosittelee vain, että nettohyödyn pitää olla positiivinen.

5.7.1 Oikeutusperiaatteen soveltaminen

Kun oikeutusperiaatetta sovelletaan tilanteisiin, joissa on kyse työperäisestä tai väestöaltistuksesta, lähestymistapa riippuu siitä voidaanko lähdeä valvoa suoraan. Yhdenlaista lähestymistapaa käytetään silloin, kun ollaan aloittamassa uutta toimintaa ja säteilysuojelu suunnitellaan etukäteen jolloin tarpeelliset toimenpiteet voidaan kohdistaa lähteeseen. Oikeutusperiaatteen soveltaminen niissä tapauksissa edellyttää, ettei mitään toimintaa pidä aloittaa, jollei se tuota altistuville yksilöille tai yhteiskunnalle riittävästi (netto)

hyötyä korvaamaan aiheutuvaa haittaa. Toiminnan jatkamisen oikeutusta voi olla tarpeen tarkastella uudelleen, kun uutta tietoa tai tekniikkaa tulee saataville.

Toisenlaista lähestymistapaa käytetään, jos altistusta voidaan valvoa paremmin altistusreittejä muuttamalla kuin suoraan lähteeseen kohdistuvalla toiminnalla. Vallitsevat altistustilanteet ja säteilyvaaratilanteet ovat tästä hyviä esimerkkejä. Näissä tilanteissa oikeutusperiaatetta sovelletaan, kun päätetään pitääkö ryhtyä joihinkin toimenpiteisiin lisääntymisen välttämiseksi. Jokainen päätös odotettavissa olevien annosten pienentämiseksi aiheuttaa aina haittoja ja päätöksen täytyy olla oikeutettu niin, että toimenpiteillä tuotettaisiin enemmän hyötyä kuin haittaa.

Kummassakin lähestymistavassa oikeutuksesta päättäminen kuuluu yleensä valtion hallinnolle tai kansallisille viranomaisille. Siten varmistetaan yhteiskunnalle tuleva kokonaishyöty mutta ei välttämättä jokaisen yksilön hyötyä. Päätökseen oikeutuksesta voi liittyä monia näkökohtia, joista käyttäjillä tai muilla hallinnon ulkopuolisilla organisaatioilla tai henkilöillä voi olla parhaiten tietoa. Siksi lähteen koosta ja muista seikoista riippuen päätöksen teon yhteydessä voidaan käyttää julkista kuulemistä. Säteilysuojelunäkökohdat ovat yksi osa laajempaa päätöksentekoprosessia.

Oikeutusprosessi potilaiden lääketieteellisessä altistuksessa on erilainen ja yksityiskohtaisempi kuin muissa altistustyypeissä. Säteilyn lääketieteellisen käytön tulee olla oikeutettua, kuten muidenkin suunniteltujen altistustilanteiden, mutta oikeutuksesta päättävät useimmiten lääketieteen ammattilaiset eikä hallinto tai säteilysuojeluviranomaiset. Lääketieteellisen altistuksen päätarkoitus on tuottaa potilaalle enemmän hyötyä kuin haittaa. Tällöin on kuitenkin otettava huomioon myös säteilyä käyttävälle henkilökunnalle ja muille ihmisille koituva säteilyhaitta. Tietyn toimenpiteen oikeutuksesta päätävillä lääketieteen ammattilaisilla tulee olla tarvittava säteilysuojelukoulutus. Aiheesta on lisää kappaleessa 7.1.

5.7.2 Altistus, joka ei ole oikeutettua

Eräät altistustyyppit eivät lähtökohtaisesti ole oikeutettuja paitsi ehkä poikkeuksellisissa olosuhteissa:

- Ruoan, juomien, kosmeettisten aineiden, lelujen, korujen ja muiden sentaapaisten tuotteiden radioaktiivisuuden kasvattaminen lisäämällä niihin radioaktiivisia aineita tai aktivoimalla niitä.
- Radiologiset tutkimukset, joita tehdään työhön liittyviin, vakuutus- tai oikeudellisiin tarkoituksiin ilman kliinistä syytä, paitsi jos tutkimuksen odotetaan tuottavan hyödyllistä tietoa tutkittavan yksilön terveydestä tai

tärkeän rikostutkimuksen tueksi. Tämä tarkoittaa lähes aina sitä, että tutkimuksessa saatu kuva tulee arvioida kliinisesti, muutoin altistus ei ole oikeutettua.

- Säteilyn käyttö oireettomien väestöryhmien lääketieteellisessä seulonnassa, jollei odotettavissa oleva hyöty tutkittaville yksilöille tai väestölle kokonaisuudessa ole riittävä vastaamaan taloudellisia ja yhteiskunnallisia kustannuksia ja haittoja, mukaan lukien säteilyhaitta. Oikeutuksen arvioinnissa on otettava huomioon seulontamenetelmän tehokkuus taudin havaitsemisessa, löydettävien tapausten tehokkaan hoidon todennäköisyys ja joidenkin tautien kyseessä ollen, yhteisön etu taudin vastustamisessa.

5.8 Suojelun optimointi

Kun toiminta on katsottu oikeutetuksi, suojelua optimoidaan. Optimointiperiaate, johon kuuluu yksilön annoksen tai riskin rajoittaminen, on keskeinen säteily-suojelussa ja sitä sovelletaan kaikissa altistustilanteissa: suunnitelluissa altistustilanteissa, säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa.

ICRP määrittelee optimoinnin lähdekohtaiseksi prosessiksi, jolla pidetään altistumisen todennäköisyys (silloin kun altistuminen ei ole varmaa), altistuvien henkilöiden lukumäärä ja yksilöannokset niin pieninä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista, kun taloudelliset ja yhteiskunnalliset tekijät otetaan huomioon. ICRP on antanut suosituksia optimoinnin toteuttamisesta julkaisuissa ICRP 37, 55, 60 ja 101. Nämä suositukset ovat edelleen voimassa eikä niitä ICRP 103:ssa toisteta yksityiskohtaisesti. Päätöksentekomenetelmät, kuten kustannus-hyötyanalyysit, ovat keskeisiä kun pyritään objektiivisella tavalla löytämään säteilysuojelullinen optimiratkaisu.

Optimoinnin tarkoitus on saavuttaa paras suojelun taso vallitsevissa olosuhteissa jatkuvan toistoprosessin avulla, johon kuuluu

- altistustilanteen arviointi, ottaen huomioon myös potentiaalinen altistus (prosessin rajaaminen)
- sopivan arvon valitseminen annos- tai riskirajoitukselle tai enimmäistasolle
- mahdollisten suojeluvaihtoehtojen tunnistaminen
- parhaan vaihtoehdon valitseminen vallitsevissa olosuhteissa ja
- valitun vaihtoehdon toteuttaminen.

Suunnitelluissa altistustilanteissa annosrajoitukset antavat ylärajan optimointiprosessille. Joitakin lähteitä ja teknologioita käytettäessä alhaisellakin tasolla olevat rajoitukset voidaan täyttää; toisinaan voidaan täyttää vain korkeammalla

tasolla olevat rajoitukset. Säteilysuojeluviranomaiset ja joskus muutkin viranomaiset voivat valita sellaiset annosrajoituksen arvot, jotka ovat kussakin tilanteessa sopivia.

Optimointiprosessia annosrajoituksineen tai enimmäistasoineen sovelletaan kaikissa altistustilanteissa suojelutoimenpiteiden suunnitteluun ja sopivan suojelutason aikaansaamiseksi kulloinkin vallitsevissa olosuhteissa. Annosrajoituksiin tai enimmäistasoihin verrataan etukäteen arvioitavia annoksia, siis annoksia, joita on mahdollista aiheutua tulevaisuudessa, koska vain niihin voidaan vaikuttaa päätöksillä ja suojelutoimenpiteillä. Annosrajoituksia ja enimmäistasoja ei ole tarkoitettu käytettäväksi rajoina jälkikäteen tehtävissä annosarvioissa.

Suojelun optimointi on eteenpäin katsova iteratiivinen prosessi, jonka tarkoitus on estää tai vähentää altistusta. Siinä otetaan huomioon sekä tekninen että yhteiskunnallis-taloudellinen kehitys ja käytetään sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia päätelmiä. Prosessin tulee olla systemaattinen ja huolellisesti rakennettu, jotta kaikki vaikuttavat näkökohdat otetaan huomioon. Optimointi on kuin mielentila, jossa aina kysytään onko toimittu mahdollisimman hyvin vallitsevissa olosuhteissa, vai vieläkö jotakin voitaisiin kohtuudella tehdä annosten pienentämiseksi. Optimointi edellyttää sitoutumista kaikilla organisaatiotasoilla ja asianmukaisia toimintakäytäntöjä ja resursseja.

Paras vaihtoehto riippuu aina altistustilanteesta. Siksi ei ole järkevää päättää etukäteen, minkä annostason alapuolella optimointi tulisi lopettaa. Altistustilanteesta riippuen paras vaihtoehto voi olla lähellä kyseessä olevaa lähdekohtaista annosrajoitusta tai enimmäistasoa tai paljonkin sen alapuolella. Suojelun optimointi ei ole sama asia kuin annoksen minimointi. Optimoitu suojelu on tulos arvioinnista, jossa etsitään tasapainoa altistuksesta johtuvan haitan ja yksilön suojeluun käytettävissä olevien resurssien välillä. Siten paras vaihtoehto ei aina ole se, josta koituu pienin annos.

Yksilön annoksen pienentämisen lisäksi on otettava huomioon altistuvien henkilöiden lukumäärä. Kollektiivinen efektiivinen annos on edelleen avaintekijä työntekijöiden suojelun optimoinnissa. Suojeluvaihtoehtojen vertailuun optimointitarkoituksessa pitää kuulua yksilöiden altistusjakauman huolellinen arviointi altistuneessa ihmisryhmässä.

Kun suuret ihmisjoukot altistuvat laajoilla maantieteellisillä alueilla tai pitkinä ajanjaksoina, yhteenlaskettu kollektiivinen efektiivinen annos ei ole käyttökelpoinen työkalu päätöksenteolle, koska se voi yhdistää informaatiota epätarkoituksenmukaisesti ja siten johtaa harhaan suojelutoimenpiteiden valinnassa. Oikeanlaisessa kollektiivisen efektiivisen annoksen käytössä jokainen altistustilanne tutkitaan huolellisesti ja tunnistetaan ne yksilölliset piirteet ja altistusparametrit jotka parhaiten kuvaavat altistuksen jakautu-

mista kyseessä olevassa väestössä ja olosuhteissa. Analyyseillä, joissa kysytään milloin, missä ja kuka altistuu, voidaan tunnistaa homogeenisia piirteitä omaavia väestöryhmiä, joille kollektiivinen annos voidaan laskea ja joille voidaan tehdä optimaalinen suojelusuunnitelma (kappale 4.4). Käytännön optimointilaskuissa kollektiivisen annoksen integraali voidaan usein jakaa osiin, koska arviointi perustuu mieluummin erilaisten suojeluvaihtoehtojen tuottamien kollektiivisten annosten integraalien välisiin eroihin kuin koko integraaliin (ICRP 37).

Julkaisuissa ICRP 77 ja 81 todettiin, että sekä käsitys yksilöannoksista että altistuneen väestön koosta tulevat sitä epävarmemmiksi mitä pidemmällä aikajaksolla niitä tarkastellaan. Kasvavien epävarmuuksien vuoksi päätöksentekoprosessissa voidaan harkita pienemmän painoarvon antamista hyvin pienille annoksille kaukaisessa tulevaisuudessa (katso myös kappale 4.4.7). ICRP ei kuitenkaan anna painotuksesta yksityiskohtaisia ohjeita, mutta korostaa että on tärkeätä selkeästi osoittaa, miten painotus on tehty.

Optimoinnin kaikkia näkökohtia ei voida ohjeistaa, tärkeämpää on että kaikki asianosaiset ovat sitoutuneita optimointiin. Valvontaviranomaisen kannalta tärkeintä optimoinnissa ei ole prosessin tulos tietyssä tilanteessa vaan pikemminkin itse prosessi, miten se toteutetaan ja mitä johtopäätöksiä siitä tehdään. Optimoinnin onnistuminen riippuu viranomaisen ja valvottavan vuorovaikutuksen laadusta.

Yhteiskunnalliset arvot vaikuttavat yleensä säteilysuojelun tasosta päätettäessä. ICRP:n suositukset pitäisi nähdä säteilysuojelun tieteelliseen perustaan tukeutuviksi päätöksentekoa auttaviksi ohjeiksi. ICRP uskoo kuitenkin, että suosituksia voidaan käyttää apuna lopullisessa, yleensä laajemmassa päätöksenteossa, johon voi liittyä muita yhteiskunnallisia merkityksiä ja eettisiä näkökohtia sekä avoimuuden huomioonottamista (ICRP 101). Säteily-suojeluasiantuntijoiden lisäksi tähän päätöksentekoprosessiin voi usein osallistua muita olennaisia sidosryhmiä.

5.9 Annosrajoitukset ja enimmäistasot

Annosrajoituksen ja enimmäistason käsitteitä käytetään suojelun optimoinnin yhteydessä rajoittamaan yksilöannoksia. Yksilöannosten taso joko annosrajoituksena tai enimmäistasona pitää aina määritellä. Lähtökohtana on, ettei näitä tasoja saisi ylittää eikä niille saa jäädä, vaan tavoitteena olisi pienentää kaikki annokset niin pieniksi kuin on järkevästi saavutettavissa, kun otetaan huomioon taloudelliset ja yhteiskunnalliset tekijät.

Termiä *annosrajoitus* käytetään suunnitellussa altistustilanteessa (poikkeuksena potilaiden lääketieteellinen altistus). Säteilyvaaratilanteissa ja

vallitsevissa altistustilanteissa ICRP ehdottaa käytettäväksi termiä *enimmäistaso*. Termien eroa perustellaan sillä, että suunnitelluissa altistustilanteissa yksilön annosta voidaan toimintaa suunniteltaessa ennakoida ja rajoittaa ja siten varmistaa, että annosrajoitusta ei tulla ylittämään. Säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa altistus voi olla hyvin erisuuruista ja altistuksen taso, jolta optimointiprosessia aletaan soveltaa voi olla enimmäistasoa korkeampi.

Taudinmäärittystä tai toimenpiteitä tehtäessä (siis suunnitelluissa altistustilanteissa) käytetään potilaan säteilyaltistuksen vertailutasoja osoittamaan sitä säteilyannoksen tasoa, jonka ei tulisi ylittyä normaalikokoiselle potilaalle hyvän käytännön mukaan tehdyssä taudinmäärittäyksessä tai toimenpiteessä. Jos määrityllä tavalla valitun potilasjoukon keskimääräinen altistus ylittää vertailutason, tulee paikallisesti arvioida, onko suojelu asianmukaisesti optimoitu vai tarvitaanko korjaustoimenpiteitä.

Annosrajoitukselle tai enimmäistasolle valittava arvo riippuu siitä, minkälaisissa olosuhteissa tarkasteltava altistus tapahtuu. Täytyy myös ymmärtää, että annos- ja riskirajoitukset tai enimmäistasot eivät ole mitään rajoja 'turvallisen' ja 'vaarallisen' välillä tai osoita porrasmaista muutosta yksilön terveysriskissä.

Taulukossa IV esitetään annosta koskevat rajoitteet (rajat, rajoitukset, potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot ja enimmäistasot) eri altistustilanteissa ja erilaisilla altistustyypeillä. Suunnitelluissa altistustilanteissa käytetään potentiaalisen altistuksen rajoittamiseksi riskirajoitusta.

Taulukko IV. Annosrajoitukset ja toimenpiderajat.

Altistustilanne	Työperäinen altistus	Väestöaltistus	Lääketieteellinen altistus
Suunniteltu altistustilanne	Annosraja Annosrajoitus	Annosraja Annosrajoitus	Potilaan säteilyaltistuksen vertailutaso (Annosrajoitus ^c)
Säteilyvaaratilanne	Enimmäistaso ^a	Enimmäistaso	Ei sovelleta
Vallitseva altistustilanne	Ei sovelleta ^b	Enimmäistaso	Ei sovelleta

^a Pitkään kestävässä tilanteissa altistusta tulisi käsitellä suunniteltuna työperäisenä altistumisena.

^b Pitkäaikaisista jälkihoitotoimista tai muusta pitkäaikaisesta työnteosta vallitsevan altistustilanteen alueella saatava altistus tulisi käsitellä suunniteltuna työperäisenä altistumisena vaikka altistustilanne on vallitseva.

^c Ainoastaan potilaiden tukihenkilöt ja tieteellisiin tutkimuksiin osallistuvat vapaaehtoiset (kappaleet 7.6 ja 7.7).

5.9.1 Annosrajoitukset

Annosrajoitus on etukäteen määritettävä säteilylähdekohtainen yksilöannoksen rajoitus, jota käytetään suunnitelluissa altistustilanteissa (lukuun ottamatta potilaiden lääketieteellistä altistusta). Suunnitelluissa altistustilanteissa annosrajoitukset tarkoittavat suojelun perustasoa ja ovat aina matalampia kuin vastaava annosraja. Annosrajoitusta käytetään ylärajana optimoitaessa suojelua tietyn lähteen aiheuttamalta säteilyltä. Suunnitteluvaiheessa tulee varmistaa, että kyseinen lähde ei tule aiheuttamaan rajoitusta suurempaa annosta. Jos annos on rajoituksen tasoa korkeampi, on epätodennäköistä että suojelu on optimoitu ja siksi lähes aina tulee tehdä joitakin toimenpiteitä annosten pienentämiseksi. Annosrajoitus ei kuitenkaan riitä suunniteltujen suojelutoimenpiteiden lopputulokseksi, vaan optimoinnin avulla saavutetaan hyväksyttävällä tasolla oleva, annosrajoitusta pienempi annos.

Jos annosrajoitus ylitetään, on tutkittava, onko suojelu optimoitu, onko valittu asiallinen annosrajoitus ja onko tarpeen tehdä toimenpiteitä annosten pienentämiseksi hyväksyttävälle tasolle. Kun kyseessä on potentiaalinen altistus, vastaavaa lähdekohtaista rajoitusta kutsutaan riskirajoitukseksi (kappale 6.1.3).

Annosrajoituksen tarkoitus on huolehtia siitä, ettei optimointiprosessiin liittyvä hyödyn ja haitan jakaantuminen tuota eriarvoisuutta niin, että jotkut yksilöt optimoinnin tuloksena altistuisivat keskimääräistä paljon suuremmille annoksille.

Kun kyseessä on työperäinen altistus, hyväksytään optimoinnin kohteeksi vain sellaiset työmenetelmät ja -olosuhteet, joissa yksilön annosrajoitus alittuu. Väestöaltistuksen ollessa kyseessä mistään suunnitellun toiminnan valvotusta lähteestä ei saa väestölle aiheutua annosrajoitusta suurempaa vuotuista altistusta. Annosrajoituksia ei kuitenkaan pidä käsittää viranomaisten antamiksi annosrajoiksi.

5.9.2 Enimmäistasot

Säteilyvaaratilanteessa tai vallitsevassa altistustilanteessa enimmäistasot edustavat sitä annoksen tai riskin tasoa, jota suurempaa altistusta ei suojelun suunnittelussa pidä sallia ja jonka alapuolella suojelua pitää optimoida. Enimmäistasolle valittava arvo riippuu kyseessä olevaan altistustilanteeseen liittyvistä taustatekijöistä.

Kun vaaratilanteeseen on jouduttu tai vallitseva altistustilanne on tunnistettu ja suojelutoimenpiteet on tehty, työntekijöiden ja väestön annokset voidaan mitata tai arvioida. Silloin enimmäistasoa voidaan käyttää vertailuarvona, jolla voidaan taannehtivasti arvioida suojeluvaihtoehtoja. Annosjakaumassa, joka

saadaan kun suunniteltua suojelustrategiaa on noudatettu, saattaa strategian onnistumisesta riippuen olla enimmäistason ylittäviä annoksia. Ne täytyy pyrkiä saamaan enimmäistasolle tai sitä alemmaksi, jos se vain on mahdollista.

5.9.3 Lähdekohtaisten annosrajoitusten ja enimmäistasojen valintaan vaikuttavat tekijät

Suuremmilla annoksilla kuin 100 mSv suorien säteilyvaikutusten todennäköisyys kasvaa ja syöpäriski on merkittävä. Siksi ICRP pitää enimmäistasojen ylärajana 100 mSv, joko kerta-altistuksena tai yhden vuoden aikana. Yli 100 mSv:n altistus voi olla oikeutettu vain äärimmäisissä olosuhteissa, joko siksi, ettei sitä voida välttää, tai poikkeustilanteissa kuten ihmishenkien pelastamiseksi tai suuronnettomuuden estämiseksi. Mikään muu yksilön tai yhteiskunnan saama etu ei voisi kompensoida niin suurta altistusta (katso ICRP 96).

Monet ICRP:n julkaisussa 60 ja myöhemmin suosittelemat numeeriset kriteerit, annosrajoja lukuun ottamatta, voidaan katsoa annosrajoituksiksi tai enimmäistasoiksi. Arvot voidaan jakaa kolmeen annosvyöhykkeeseen, joiden tunnusmerkkejä kuvataan seuraavissa kappaleissa. Tämä esitystapa antaa mahdollisuuden sopivan enimmäistason valitsemiseen sellaisessakin tilanteessa, jota ICRP ei ole erikseen käsitellyt.

Taulukossa V olevat vyöhykkeet kattavat kaikki kolme altistustilannetta ja tarkoittavat joko akuuttia annosta tai vuosiannosta tilanteesta riippuen. Annosrajoitukset suunnitellussa altistuksessa ja toimenpiderajat vallitsevassa altistustilanteessa esitetään yleensä efektiivisenä vuosiannoksena (mSv vuodessa). Säteilyvaaratilanteissa enimmäistasot tarkoittavat yksilölle tulevaa kokonaisjäännösannosta, jota viranomaisen suunnitelmien mukaan ei voida ylittää kerta-annoksena (jonka ei ole tarkoitus toistua) eikä pitkittyvän altistuksen seurauksena olevana vuosiannoksena.

Ensimmäistä vyöhykettä, ≤ 1 mSv, sovelletaan tilanteissa, jossa yksilöt altistuvat säteilylle – tavallisesti suunnitellusti – eikä altistustilanteesta ehkä ole heille mitään hyötyä, mutta siitä voi olla hyötyä yhteiskunnalle. Väestön altistuminen suunnitellun toiminnan vuoksi on selkeä esimerkki tämän tyyppisestä tilanteesta. Annosrajoitukset ja enimmäistasot tällä vyöhykkeellä valitaan ottaen huomioon, että toiminnasta tiedotetaan yleisesti, ympäristöä valvotaan ja altistuville henkilöille voidaan antaa asiasta lisätietoa mutta heitä ei varsinaisesti kouluteta. Annokset ovat vain pieni lisä ympäristön taustasäteilyyn ja vähintään kahta suuruusluokkaa pienemmät kuin enimmäistasojen ylärajat ja turvaavat siten tiukan suojelutason.

Taulukko V. Lähdekohtaisten annosrajoitusten ja enimmäistasojen annosvyöhykkeet. Esimerkkejä työntekijöitä ja väestöä koskevista yhtä pääasiallista lähdettä koskevista rajoituksista kaikissa valvottavissa olevissa altistustilanteissa.

Annosrajoitusten ja enimmäistasojen vyöhykkeet ^a (mSv)	Altistustilanteen luonnehdinta	Vaatimukset säteilysuojelulle	Esimerkkejä
20–100 ^{b,c}	Yksilöt altistuvat lähteille, joita ei voida valvoa tai joista johtuvan altistuksen pienentäminen aiheuttaisi suhteetonta vahinkoa. Altistusta rajoitetaan yleensä altistusreitteihin kohdistuvilla toimenpiteillä.	Annoksia pitää pyrkiä pienentämään, erityisesti kun ne ovat lähellä 100 mSv. Yksilöiden tulee saada tietoa säteilyn riskeistä ja annosten pienentämiseen tähtäävistä toimista. Yksilö-annoksia tulee arvioida.	Enimmäistaso suunniteltavalle säteilyvaaratilanteesta aiheutuvalla korkeimmalle jäännös-annokselle.
1–20	Yksilöt yleensä hyötyvät altistustilanteesta, mutta eivät välttämättä itse altistuksesta. Altistusta voidaan rajoittaa kohdistamalla toimenpiteitä joko suoraan lähteeseen tai altistusreitteihin.	Mikäli mahdollista, yleistä tietoa tulee olla saatavana, jotta yksilöt voivat itse pienentää annostaan. Suunnitelluissa altistustilanteissa yksilöiden altistusta pitää arvioida ja heitä pitää kouluttaa.	Annosrajoitukset työperäiselle altistukselle suunnitellussa altistustilanteessa. Annosrajoitukset isotooppihoitoa saaneiden potilaiden tukihenkilöille. Enimmäistaso korkeimmalle sallitulle jäännös-annokselle sisäilman radonista.
≤ 1	Yksilöt altistuvat lähteelle, josta he hyötyvät vain vähän tai ei ollenkaan, mutta joka hyödyttää yhteiskuntaa. Altistusta rajoitetaan yleensä kohdistamalla toimenpiteitä suoraan lähteeseen etukäteen suunniteltujen säteily-suojeluvaatimusten mukaisesti.	Yleistä tietoa altistuksen tasosta pitää olla saatavana. Eri reittejä pitkin aiheutuvaa altistusta täytyy valvoa säännöllisesti.	Annosrajoitukset väestöaltistukselle suunnitellussa altistustilanteessa.

^a Kerta-annos tai vuosiansios.

^b Vapaaehtoisille työntekijöille, jotka ymmärtävät tilanteen, voidaan sallia tätä vyöhykettä suurempia annoksia poikkeuksellisissa tilanteissa kuten hengenpelastuksessa, vakavien säteilystä johtuvien terveysvaikutusten välttämiseksi tai suuronnettomuuden kehittymisen estämiseksi.

^c Tilanteissa, joissa joidenkin elinten tai kudosten suorien säteilyvaikutusten annoskynnys voi ylittyä, pitäisi aina ryhtyä vastatoimenpiteisiin.

Toista vyöhykettä, 1–20 mSv, sovelletaan altistustilanteisiin, joissa yksilö saa altistustilanteesta suoraan hyötyä. Annosrajoitukset ja enimmäistasot tällä annosalueella valitaan ottaen huomioon, että yksilöitä valvotaan annosmittauksin tai tekemällä annosarvioita ja että he saavat koulutusta. Tyypillinen esimerkki tälle vyöhykkeelle on suunnitellussa tilanteessa aiheutuva työperäinen altistus. Tällä vyöhykkeellä voivat olla myös altistuminen normaalia voimakkaammalle luonnonsäteilylle tai jotkin tilanteet kunnostusvaiheessa säteilyonnettomuuden jälkeen.

Kolmatta vyöhykettä, 20–100 mSv, sovelletaan epätavallisissa, usein äärimmäisissä tilanteissa, joissa annosten pienentämiseen tähtäävät toimenpiteet voivat olla vahingollisia. Enimmäistasoja ja satunnaisia 50 mSv:n alapuolella olevia kertaluonteisia annosrajoituksia voidaan myös käyttää olosuhteissa, joissa altistuksella saatavat hyödyt ovat vastaavasti riittävän suuret. Hyviä esimerkkejä ovat toimet, joilla pienennetään altistusta säteilyvaaratilanteessa. Jos annokset lähestyvät 100 mSv:ä, suojelutoimenpiteet ovat lähes aina oikeutettuja. Lisäksi tilanteissa, joissa jonkin elimen tai kudoksen suoran säteilyvaikutuksen kynnsannos voisi ylittyä, pitäisi aina ryhtyä suojelutoimenpiteisiin.

Suojelun optimointiin kuuluu sopivan arvon valitseminen annosrajoitukselle tai enimmäistasolle. Ensimmäinen askel on altistustilanteen luonnehtiminen: minkälaisesta altistuksesta on kyse, mitä hyötyä altistustilanteesta on yksilöille ja yhteiskunnalle, onko muita yhteiskunnallisia näkökohtia ja miten altistusta voitaisiin pienentää tai estää se kokonaan. Vertaamalla näitä tekijöitä taulukossa V oleviin puitteisiin voidaan annosrajoitukselle tai enimmäistasolle valita sopiva vyöhyke. Annosrajoituksen tai enimmäistason varsinainen arvo voidaan sitten määritellä optimoinnin avulla, jossa otetaan huomioon kansalliset ja alueelliset tekijät ja arvostukset, ja silloin kun katsotaan tarpeelliseksi kansainväliset ohjeet ja muualla hyviksi osoittautuneet toimintatavat.

5.10 Annosrajat

Annosrajoja sovelletaan vain suunnitelluissa altistustilanteissa, mutta ei kuitenkaan potilaiden lääketieteelliseen altistukseen. Nykyisin käytössä olevien ICRP 60:ssa suositeltujen annosrajojen katsotaan edelleen turvaavan asianmukaisen suojelutason. Työntekijöitä ja väestöä koskevat nimelliset haittakertoimet ovat yhteneväiset ICRP 60:ssa olevien kanssa, joskin uudet kertoimet ovat numeerisesti hiukan pienemmät. Tällä pienellä erolla ei ole käytännön merkitystä. Kummassakin altistusryhmässä, työperäisessä ja väestöaltistuksessa, annosrajoja sovelletaan oikeutetuiksi arvioitujen toimintojen lähteistä aiheutuvien altistusten summaan. Taulukossa VI on yhteenveto annosrajoista.

Taulukko VI. Annosrajat suunnitelluissa altistustilanteissa ^a.

Annosraja	Työperäinen altistus	Väestöaltistus
Efektiivinen annos	20 mSv vuodessa, tiettyjen 5-vuotiskausien keskiarvona ^e	1 mSv vuodessa ^f
Vuotuinen ekvivalenttiannos		
Silmän mykiö ^b	150 mSv	15 mSv
Iho ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Kädet ja jalat	500 mSv	–

^a Efektiivisen annoksen rajat koskevat ulkoisesta altistuksesta tiettyinä aikana aiheutuneiden efektiivisten annosten ja samana aikana nautituista radionuklideista aiheutuneiden efektiivisten annosten kertymien summaa. Aikuisille annoskertymä lasketaan 50 vuoden jaksolle saannin jälkeen ja lapsille kunnes he ovat 70-vuotiaita.

^b Tämän rajan oikeellisuutta arvioidaan parhaillaan ICRP:n työryhmässä.

^c Efektiivisen annoksen raja antaa iholle riittävän suojan stokastisia vaikutuksia vastaan.

^d Keskiarvona 1 cm² ihoalueelle riippumatta altistuneesta alueesta.

^e Edellyttäen että efektiivinen annos ei minään vuonna ylitä 50 mSv. Raskaana olevien naisten työperäisessä altistuksessa on lisärajoituksia.

^f Erityisolosuhteissa voidaan sallia suurempi efektiivisen annoksen arvo yhtenä vuonna edellyttäen että 5 vuoden keskiarvo ei ylitä 1 mSv vuodessa.

Suunniteluissa altistustilanteissa työperäisen altistuksen rajana on edelleen efektiivinen annos 20 mSv vuodessa tietyn 5-vuotiskauden aikana (100 mSv viidessä vuodessa). Lisäksi efektiivinen annos ei saa olla suurempi kuin 50 mSv minään yksittäisenä vuotena.

Väestön efektiivisen annoksen raja suunnitellussa altistustilanteessa on edelleen 1 mSv vuodessa. Kuitenkin erityisolosuhteissa voidaan jonakin vuonna sallia suurempi efektiivinen annos, jos keskiarvo ei minkään tietyn 5-vuotiskauden aikana kohoa yli 1 mSv vuodessa.

Efektiivisten annosten rajoja sovelletaan ulkoisesta säteilystä aiheutuvien annosten ja radionuklidien saannista aiheutuvien sisäisen säteilyn annoskertymien summaan. ICRP 60:ssa todetaan, että työperäinen radionuklidien saanti voidaan laskea 5 vuoden keskiarvona. Tämä on edelleen ICRP:n kanta. Samaten väestön radionuklidien saannille voidaan käyttää 5 vuoden keskiarvoa niissä erityisolosuhteissa, joissa väestöannoksen keskiarvon käyttäminen voidaan sallia (katso edellistä kappaletta).

Annosrajoja ei sovelleta vaaratilanteissa, joissa säteilyn haitoista tietoiset henkilöt osallistuvat vapaaehtoisesti ihmishenkiä pelastavaan tai suuronnettomuutta estävään toimintaan. Sellaisessa tapauksessa voidaan taulukossa VI mainittuja annosrajoja lieventää. Henkilöitä, jotka tekevät kunnostustoimenpiteitä säteilyvaaratilanteen myöhäisvaiheessa tulisi pitää työperäisesti

altistuneina ja heitä tulisi suojella normaalien työperäisen altistuksen määräysten mukaisesti. Heidän altistuksensa ei saisi ylittää työntekijöiden annosrajoja. Koska raskaana olevia tai imettäviä naisia (kappale 5.4.1.) tulee erityisesti suojella ja koska säteilyvaaratilanteen varhaisten vastatoimenpiteiden yhteydessä saatavaa altistusta ei voida varmasti ennakoida, heitä ei pidä käyttää ihmishenkiä pelastaviin tai muihin hätätoimenpiteisiin.

Väestöannosrajoja ei pitäisi soveltaa sellaiseen altistumisen mahdollisuudesta tietoiseen, väestöön kuuluvaan henkilöön, joka hoitaa ja tukee sairaalasta isotooppihoitojen jälkeen kotiutettua potilasta, vaan rajoja voidaan lieventää.

Efektiivisen annoksen rajojen lisäksi annetaan suositukset myös silmän mykiön ja paikallisten ihoalueiden annosrajoiksi, koska näiden kudosten suojelu kudosreaktioilta ei välttämättä toteudu efektiivisen annoksen avulla. Annosrajat on määritelty ekvivalenttiannoksina. Silmän mykiön säteilyherkkyydestä näön huononemisen suhteen ollaan saamassa uutta tietoa ja ICRP tulee arvioimaan sen merkitystä ekvivalenttiannosrajalle. Koska tämän riskin suhteen on epävarmuutta, silmien suojelun optimointiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

Kudosten annosrajat on annettu ekvivalenttiannoksina. Syynä on se, että ICRP uskoo suhteellisen biologisen tehokkuuden (RBE) suorille säteilyvaikutuksille olevan aina pienempi kuin säteilyn painotuskerroin (w_R) stokastisille vaikutuksille. Silloin on turvallista päätellä, että annosrajat tuovat vähintään saman turvallisuuden korkean LET-arvon säteilylle kuin matalan LET-arvon säteilylle ja säteilyn painotuskerrointa (w_R) voidaan käyttää suorille säteilyvaikutuksille. Erityistilanteissa, joissa korkean LET-arvon säteily on kriittinen tekijä ja ainoastaan yksi kudos altistuu sille (kuten ihoaltistuksessa), on parempi ilmoittaa altistus absorboituneena annoksena ja ottaa huomioon asiaankuuluva RBE. Sekaannusten välttämiseksi on ehdottomasti ilmoitettava selkeästi, milloin käytetään RBE:llä painotettua absorboitunutta annosta ja gray-yksikköä.

ICRP:n annosrajojen valintaprosessissa otetaan huomioon monia eri tekijöitä ja siihen sisältyy välttämättä eri riskitekijöiden arviointeja yhteiskunnalliselta kannalta. Näiden arviointien tulokset eivät useinkaan ole samoja eri yhteyksissä ja erityisesti ne voivat vaihdella yhteiskunnasta toiseen. Siksi ICRP:n ohjeet ovat joustavia ja antavat tilaa kansallisille ja alueellisille vaihteluille. ICRP:n mielestä kuitenkin tarpeellinen joustavuus eniten altistuvien henkilöiden suojelussa saadaan parhaiten toteutetuksi käyttämällä viranomaisen valitsemia lähdekohtaisia annosrajoituksia ja soveltamalla niitä suojelun optimointiin.

6 Suositusten toteuttaminen

Edellisessä luvussa kuvattiin ICRP:n vuoden 2007 säteilysuojelujärjestelmää (ICRP 103) ja todettiin, että sitä sovelletaan kaikkiin säteilyaltistuksen valvontaa edellyttäviin tilanteisiin. Tämä luku käsittelee suositusten toteuttamista kaikissa altistustilanteissa; suunnitelluissa altistustilanteissa, säteilyvaaratilanteissa ja vallitsevissa altistustilanteissa. Erityistä huomiota kiinnitetään tapauksiin, joissa suositusten toteuttaminen ei ole aivan yksiselitteistä. Kappaleessa 6.3 vertaillaan näitä uusia suosituksia aikaisempiin ICRP 60:n suosituksiin ja niiden pohjalta annettuihin lisäohjeisiin. Viimeisessä kappaleessa käsitellään suositusten toteuttamiseen liittyviä yleisiä näkökohtia, erityisesti toiminnan harjoittajan ja valvontaviranomaisen velvollisuuksia.

6.1 Suunnitellut altistustilanteet

Suunnitellut altistustilanteet ovat sellaisia, joissa säteilyaltistuksen suuruus ja kohteet voidaan ennakoida melko hyvin ja siten säteilysuojelu voidaan suunnitella etukäteen, ennen kuin altistusta aiheutuu. Näitä tilanteita kutsuttiin ICRP:n aikaisemmissa suosituksissa toiminnoiksi. Kun aloitetaan hanketta, josta aiheutuu suunniteltu altistustilanne, kaikki oleelliset säteilysuojelunäkökohdat on otettava huomioon. Ne voivat liittyä toiminnan suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöön, purkamiseen, jätehuoltoon ja aiemmin käytössä olleiden maa-alueiden ja rakennusten puhdistamiseen. Sekä potentiaalinen että normaalikäytöstä aiheutuva altistuminen on otettava huomioon toimintaa suunniteltaessa. Sekä potilaille että potilaiden tukihenkilöille aiheutuva lääketieteellinen altistus kuuluvat suunniteltuihin altistustilanteisiin, mutta niitä käsitellään erityispiirteiden vuoksi erikseen luvussa 7. Säteilyvaaratilanteista johtuviin ja vallitseviin altistustilanteisiin liittyviin suunniteltuihin töihin, silloin kun säteilyvaaratilanne on saatu hallintaan, sovelletaan suunnitellun altistustilanteen säteilysuojeluperiaatteita.

Suunnitellussa altistustilanteessa voi esiintyä kaikkia eri altistuslajeja, työperäistä altistusta (kappale 6.1.1), väestöaltistusta (kappale 6.1.2) ja potilaille ja heidän tukihenkilöilleen aiheutuvaa lääketieteellistä altistusta (luku 7). Suunniteltuun altistustilanteeseen kuuluvia laitoksia tai laitteita ja niiden käyttöä suunniteltaessa ja kehitettäessä on myös arvioitava potentiaalista altistusta, joka voi aiheutua käyttöpoikkeamista tai jos säteilylähteiden turvallisuuteen ja niitä koskeviin turvajärjestelyihin ei kiinnitetä riittävää huomiota.

6.1.1 Työperäinen altistus

ICRP:n aikaisemmin suosittelemat yleiset periaatteet työntekijöiden säteily-suojelulle (ICRP 75) ovat edelleen voimassa.

Suunnitelluissa altistustilanteissa työntekijöiden altistusta suositellaan rajoitettavaksi optimoimalla lähdekohtaisen annosrajoituksen alapuolella ja käyttämällä annosrajoja. Annosrajoitus suunniteltua toimintaa varten tulee määritellä toiminnan valmisteluvaiheessa. Monissa töissä on mahdollista etukäteen arvioida, minkälaisia annoksia hyvin järjestetystä toiminnasta oletettavasti tulee aiheutumaan ja asettaa annosrajoitukset sen perusteella. Työ tulee määritellä melko laajasti, esimerkiksi teollisuusradiografia, ydinvoimalaitoksen normaalikäyttö tai työ lääketieteellisessä laitoksessa. Kuitenkin voi olla erityistilanteita joissa annosrajoitus voidaan antaa ohjaamaan tiettyä toimenpidettä.

Laitoksen suunnitteluvaiheessa tulee yksilöidä ne säteilylähteet, joita annosrajoitus koskee, ettei syntyisi sekaannusta, jos työntekijät altistuisivat samanaikaisesti joillekin muille lähteille. Työperäisen altistuksen lähdekoh- taisilla annosrajoituksilla varmistetaan että annosrajat eivät ylitä (kappale 5.10). Kokemuksesta työntekijöiden suojelussa on hyötyä annosrajoitusten määrittämisessä. Siksi suuret vakiintuneet organisaatiot, joilla on kattava säteilysuojelujärjestelmä asettavat usein itselleen annosrajoituksia. Pienemmät organisaatiot, joilla on vähemmän kokemusta saattavat tarvita ohjeita asian- tuntijaorganisaatioilta tai viranomaisilta. Siitä huolimatta vastuu annosra- joitusten asettamisesta kuuluu sille, joka on vastuussa työntekijän altis- tuksesta.

Maasta tai laitoksesta toiseen kiertävien tai työpaikkaa vaihtavien työn- tekijöiden suojelu vaatii erityishuomiota, koska on mahdollista että useat työn- antajat tai luvanhaltijat ovat suojelusta vastuussa. Lisäksi mukana voi olla useita kansallisia valvontaviranomaisia. Tällaisia työntekijöitä ovat ydinvoima- laitosten huoltoja tai teollisuusradiografialaitteilla kuvauksia tekevät henkilöt, jotka eivät kuulu kyseisen laitoksen henkilökuntaan. Jotta heidän suojelunsa tulisi hoidetuksi kunnolla ja annosrajoja noudatettaisiin, täytyy heidän altistus- taan seurata ja ottaa siinä huomioon aikaisempi altistus. Siksi kiertävien työn- tekijöiden työnantajien ja heitä vuokraavien laitosten käyttäjien tulee tehdä yhteistyötä. Viranomaisten tulee varmistaa että säädökset ovat tältä osin riit- tävän kattavat.

6.1.2 Väestöaltistus

Suunnitelluissa altistustilanteissa ICRP suosittelee, että väestöaltistusta rajoi- tetaan optimoimalla lähdekohtaisen annosrajoituksen alapuolella ja käyttämällä

annosrajoja. Yleensä, ja erityisesti väestöaltistuksen kyseessä ollen, jokainen lähde aiheuttaa altistusta monille yksilöille ja siten *edustavan henkilön* käsitettä tulisi käyttää eniten altistuvien yksilöiden tunnistamiseen (ICRP 101). Annosrajoitusten tulee olla matalampia kuin väestön annosrajat ja yleensä kansallinen viranomainen asettaa ne.

ICRP on suositellut, että väestöaltistuksen rajoittamiseksi radioaktiivisten aineiden päästöihin ja jätteiden loppusijoitukseen sovellettaisiin korkeintaan annosrajoitusta 0,3 mSv (ICRP 77, ICRP 81). Kun pitkäikäisiä radionuklideja suunnitellaan päästettäväksi ympäristöön, turvallisuusarviossa pitää tarkastella, voiko kertyminen ympäristöön aiheuttaa annosrajoituksen ylityksen, kun otetaan huomioon kaikki ajateltavissa olevat altistusten yhdistelmät ja kertymät. Jos arviota ei pystytä tekemään tai sen tulos on liian epävarma, olisi asiallista käyttää suuruusluokkaa 0,1 mSv vuodessa olevaa annosrajoitusta pitkäikäisistä keinotekoisista radionuklideista pitkän ajanjakson aikana aiheutuvalla annoksella. Luonnon radioaktiivisia aineita sisältävästä materiaalista aiheutuvan altistuksen kohdalla tämä rajoitus ei ole järkevä eikä sitä edellytetä (ICRP 82). Jotta jatkuvista toiminnoista aiheutuvat vuosiannokset kertyessään eivät aiheuttaisi annosrajojen ylitystä tulevaisuudessa, arvioinnissa voidaan käyttää annositoumaa (ICRP 60). Annositouma on se kokonaisannos, joka ajan mittaan on seurauksena tietystä tapahtumasta, kuten suunnitellun toiminnan aiheuttamasta päästöstä vuoden aikana. Jonkinlaista joustoa voidaan tarvita tietyissä tilanteissa, joissa päästö sisältää pitkäikäisiä luonnon radionuklideja, kuten lopetetun kaivostoiminnan kohdalla (katso kappaleet 2.3 ja 5.2.2 julkaisussa ICRP 82).

6.1.3 Potentiaalinen altistus

Suunnitelluissa altistustilanteissa on odotettavissa tietyn suuruinen altistus. Kuitenkin suurempi altistus on mahdollinen käyttöpoikkeaman, onnettomuuden, säteilylähteen hallinnan menettämisen tai pahantahtoisen toiminnan seurauksena. Tällaista *potentiaalista altistusta* ei ole suunniteltu tapahtuvaksi vaikkakin toiminta on suunniteltua. Käyttöpoikkeamat ja onnettomuudet voidaan ennakoida ja niiden todennäköisyys arvioida, mutta niitä ei voida yksityiskohdaisesti ennustaa. Säteilylähteen joutuminen pois valvonnasta ja pahantahainen toiminta ovat vaikeammin ennakoitavissa ja ne edellyttävätkin erityistä lähestymistapaa.

Usein potentiaalisen altistuksen ja normaalikäytöstä aiheutuvan altistuksen välillä on tietty yhteys. Esimerkiksi toimenpiteet, joilla vähennetään normaalitoiminnasta johtuvaa altistusta voivat lisätä potentiaalisen altistuksen todennäköisyyttä. Siten pitkäikäisten jätteiden varastointi, sen sijaan että

jätteet päästettäisiin valvotusti ympäristöön, voi vähentää päästöistä koituvaa altistusta, mutta lisätä potentiaalista altistusta.

Potentiaallinen altistus tulee ottaa huomioon, kun suunniteltua toimintaa valmistellaan. Sopivilla toimenpiteillä voidaan pienentää tapahtumien todennäköisyyttä tai rajoittaa ja vähentää aiheutuvaa altistusta, jos ne tapahtuvat (ICRP 60, 76). Kun sovelletaan oikeutus- ja optimointiperiaatteita potentiaalinen altistus tulee aina ottaa huomioon.

Potentiaalista altistusta liittyy kolmen tyyppisiin tapahtumiin:

- Tapahtumat, joissa potentiaalista altistusta voi aiheutua lähinnä niille yksilöille, joihin myös suunniteltu altistus kohdistuu. Yksilöiden lukumäärä on yleensä pieni ja haittana on altistuvan henkilön terveysriski. Tilanne, jossa tällainen altistus aiheutuu, on suhteellisen yksinkertainen, esimerkiksi mahdollisuus päästä säteilytystilaan turvallisuutta vaarantaen. ICRP 76:ssa on tämänkaltaista potentiaalista altistumista koskevia suojeluohjeita ja ne pätevät edelleen. Muutamia muita esimerkkitilanteita käsitellään kappaleessa 7.5, joka käsittelee onnettomuuksia säteilyn lääketieteellisen käytön yhteydessä.
- Tapahtumat, joissa potentiaalinen altistus voi koskea suurempia ihmisjoukkoja ja joiden seurauksena on terveysriskien lisäksi myös muunlaisia haittoja, kuten esimerkiksi maan saastuminen ja tarve valvoa elintarvikkeiden käyttöä. Esimerkkejä tällaisesta monimutkaisesta tilanteesta ovat suuren ydinvoimalaitosonnettomuuden mahdollisuus tai radioaktiivisen materiaalin pahantahtoinen käyttö. ICRP:n julkaisussa 64 käsitellään säteilysuojelua tämän tyyppisen tapahtuman yhteydessä ja ICRP 96:ssa on vielä lisäohjeita pahantahtoisesta toiminnasta johtuvan tilanteen varalle.
- Tapahtumat, joissa potentiaalinen altistus voi tapahtua kaukaisessa tulevaisuudessa ja annokset voidaan saada pitkän ajan kuluessa; esimerkiksi pitkäikäisten kiinteiden jätteiden loppusijoitus syvälle maaperään. Kaukaisessa tulevaisuudessa tapahtuvaan altistumiseen liittyy merkittävää epävarmuutta. Siten annosarvioita ei tule pitää useiden satojen vuosien päästä aiheutuvan terveyshaitan mittana. Pikemminkin laskettavat annokset indikoivat loppusijoitussysteemin turvallisuutta. ICRP on antanut erityisohjeita pitkäikäisten kiinteiden radioaktiivisten jätteiden loppusijoituksesta julkaisussa ICRP 81 ja ne pätevät edelleen.

Potentiaalisen altistuksen arviointi

Potentiaalista altistusta arvioidaessa suojelutoimenpiteiden suunnittelua tai niistä päättämistä varten edetään yleensä vaiheittain: a) tunnistetaan sellaisia

tapahtumakulkuja, jotka kuvaavat tyypillistä altistumistilannetta; b) arvioidaan jokaisen tapahtumakulun todennäköisyys; c) arvioidaan tapahtumasta johtuvat annokset; d) arvioidaan annoksista johtuva haitta; e) vertaillaan tuloksia jonkin hyväksyttävyysskriteerin kanssa; ja f) optimoidaan suojelua, jolloin voidaan joutua toistamaan edelliset vaiheet useampaan kertaan.

Kun päätetään potentiaalisen altistuksen hyväksyttävyydestä, tulisi ottaa huomioon sekä altistumisen todennäköisyys että sen suuruus. Joissakin tapauksissa päätös voidaan tehdä tarkastelemalla näitä kahta tekijää erikseen. Joskus taas on hyödyllistä tarkastella yksilön säteilystä aiheutuvan kuoleman todennäköisyyttä pikemmin kuin efektiivistä annosta (ICRP 76). Tällöin todennäköisyys määritetään kertomalla keskenään annoksen aiheutumisen todennäköisyys jonakin vuonna ja mahdollisesta annoksesta elinaikana aiheutuvan kuoleman todennäköisyys. Tuloksena saatua todennäköisyyttä voidaan sitten verrata riskirajoitukseen. Jos riskin todennäköisyys on pienempi kuin riskirajoitus, se voidaan sallia. Näitä molempia lähestymistapoja käsitellään pitkäikäisten jätteiden loppusijoitusta käsittelevässä julkaisussa ICRP 81.

Riskirajoitukset ovat annosrajoitusten tavoin lähdekohtaisia ja periaatteessa niiden pitäisi vastata samaa terveysriskiä kuin samaan lähteeseen liittyvät annosrajoitukset. Kuitenkin ei-turvallisten tilanteiden ja niistä aiheutuvien annosten todennäköisyyden arviointiin liittyy paljon epävarmuutta. Siten yleisen arvon antaminen riskirajoitukselle on usein riittävää. Kun ICRP:n periaatteiden mukaista annosrajoitusta ja optimointia noudatetaan, työperäisestä altistuksesta tuleva vuotuinen efektiivinen annos keskimääräiselle yksilölle voi tietyissä valituissa toimenpiteissä olla niinkin korkea kuin 5 mSv. Siksi ICRP suosittelee edelleen työntekijöiden potentiaaliselle altistukselle yleistä vuotuista riskirajoitusta 2×10^{-4} , joka on samansuuruinen kuin 5 mSv:n vuotuisen työperäiseen altistukseen liittyvä kuolemaan johtavien syöpien todennäköisyys (ICRP 76). Väestön potentiaaliselle altistukselle ICRP suosittelee edelleen 1×10^{-5} suuruista vuotuista riskirajoitusta.

Todennäköisyysarviointia voi käyttää vain silloin, kun epätodennäköisiä tapahtumia voidaan ennustaa. Olosuhteissa, joissa onnettomuus voi johtua hyvin erilaista alkusyistä, tulee kokonaistodennäköisyyden arvioinnissa olla hyvin varovainen, koska kaikkien epätodennäköisten alkusyiden olemassaolon ennustamiseen liittyy suuria epävarmuuksia. Usein saadaankin enemmän tietoa päätöksentekoa varten tarkastelemalla kunkin yksittäisen tapahtuman todennäköisyyttä ja siitä aiheutuvaa annosta erikseen.

Suurille ydinlaitoksille voi valvontaviranomainen etukäteen antaa annoskriteerejä tietyille potentiaaliseen altistukseen johtaville tapahtumakuluille. Näitä kriteerejä voidaan käyttää onnettomuuden estämistä ja seurausten

lieventämistä koskevaan suunnitteluun. Annoskriteerin tulisi olla johdettu riskirajoituksesta ottaen huomioon onnettomuuden todennäköisyys.

Säteilylähteiden turvallisuus ja turvajärjestelyt ja pahantahtoinen toiminta

Suunniteltuun altistustilanteeseen voi liittyä potentiaalinen altistus, jos säteilylähteen hallinta menetetään. Säteilylähteeseen kohdistuvat oikeanlaiset turvajärjestelyt ovat asiallisen säteilysuojelun edellytys. Kaikissa suunnitelluissa altistustilanteissa valvonta kohdistuu pikemmin lähteeseen kuin sen ympäristöön.

Radioaktiivisten lähteiden turvajärjestelyt ovat välttämätön, mutta ei vielä riittävä edellytys lähteen turvallisuudelle. Säteilylähte voi olla turvajärjestelyjen alainen, siis kunnolla valvottu, niin että esimerkiksi pahantahtoinen toiminta voidaan estää, mutta se ei silti ole turvallinen, toisin sanoen se voi olla altis onnettomuuksille. Turvallisuusyhteyksissä turvajärjestelyt rajoittuvat tavallisesti yleiseen valvontaan, jota tarvitaan estämään materiaalin ja laitteiden katoaminen, pääsy niiden luokse, luvaton haltuunotto, siirtäminen ja käyttö. Turvallisuuden takaamiseksi on oleellista jatkuvasti huolehtia näistä asioista.

ICRP 60:ssä ei kiinnitetty erityistä huomiota terrorismilta ja pahantahtoiselta toiminnalta suojaamiseen. Niiden mahdollisuuden huomioon ottaminen kuuluu kuitenkin nykyaikaiseen säteilyturvallisuuteen. Tarkoituksellisella vahingonteolla esim. radioaktiivisen aineen levittämällä yleisiin tiloihin voidaan altistaa ihmisiä ja aiheuttaa huomattavaa ympäristön saastumista ja tällaiset tapahtumat edellyttävät erityisiä säteilysuojelutoimenpiteitä (ICRP 96).

6.2 Säteilyvaaratilanne

Vaikka kaikki kohtuulliset toimenpiteet on tehty suunnitteluvaiheessa potentiaalisen altistuksen todennäköisyyden pienentämiseksi ja seurausten vähentämiseksi, potentiaalinen altistus tulee ottaa huomioon säteilyvaaratilanteeseen varauduttaessa ja tilanteessa toimittaessa. Säteilyvaaratilanteesta aiheutuu odottamattomia altistustilanteita, jotka edellyttävät kiireellisiä ja mahdollisesti myös pitkäaikaisia suojelutoimenpiteitä. Sekä työntekijät että väestö voivat altistua näissä tilanteissa, samoin ympäristö voi saastua. Altistus voi olla monimutkaista siinä mielessä, että se voi aiheutua useasta toisistaan riippumattomasta, mahdollisesti samanaikaisesta altistustiestä. Säteilyvaaran lisäksi tilanteesta voi johtua muitakin vaaroja, esim. kemiallisia ja fysikaalisia. Mahdolliset toimet vaaratilanteessa voidaan suunnitella etukäteen, paremmalla tai huonommalla tarkkuudella riippuen minkälaisesta laitoksesta tai tilanteesta on kyse.

Koska varsinaisia altistustilanteita ei niiden luonteesta johtuen voida ennustaa, suunniteltujen suojelutoimenpiteiden tehoa ei voida tietää tarkasti etukäteen vaan niitä täytyy voida joustavasti soveltaa varsinaisessa tilanteessa.

ICRP on käsitellyt säteilyvaaratilanteeseen liittyvän intervention suunnittelua koskevia yleisiä periaatteita julkaisuissa ICRP 60 ja 63, ja antanut lisäohjeita julkaisuissa ICRP 86, 96, 97 ja 98. Nämä periaatteet ja ohjeet pätevät edelleen, mutta niiden soveltamisessa otetaan nyt huomioon viimeaikainen kehitys ja kertyneet kokemukset varautumisesta säteilyvaaratilanteisiin.

Nyt ICRP painottaa säteilyvaaratilanteissa sovellettavien suojelustrategioiden oikeutuksen ja optimoinnin tärkeyttä ja sitä miten enimmäistasot ohjaavat optimointiprosessia (kappale 5.9). Kokonaisvaltaiseen suojelustrategiaan kuuluu yleensä säteilytilanteen arviointi ja eri suojelutoimenpiteiden toimeenpano. Koska tilanteessa voi olla useita, riippumattomia, samanaikaisia ja kestoaltaan vaihtelevia altistusreittejä, on suojelutoimenpiteitä kehitettäessä ja niitä toimeen pantaessa tärkeitä keskittyä kokonaisaltistukseen. Suojelutoimenpiteet voivat muuttua ajan kuluessa, kun altistustilanne kehittyy. Altistustilanne voi myös kohdistua eri alueisiin eri lailla. Kokonaisaltistusta, joka aiheutuu säteilyvaaratilanteessa, jos mitään suojelutoimenpiteitä ei tehtäisi, kutsutaan *odotettavissa olevaksi annokseksi*. Annos, joka aiheutuu suojelutoimenpiteiden toteutuksen jälkeen, on *jäännösannos*. Sen lisäksi jokaisella yksittäisellä suojelutoimenpiteellä vältetään tietty määrä altistusta. Sitä kutsutaan *vältetyksi annokseksi*. Vältetyn annoksen käsitettä käytetään yksittäisen suojelutoimenpiteen optimoinnissa (ICRP 63), ja kaikista vältetyistä annoksista syntyy kokonaissuojelustrategia. ICRP painottaa nyt optimoinnin suuntaamista kokonaissstrategiaan pikemmin kuin yksittäisiin toimenpiteisiin. Kuitenkin ICRP 63:ssa suositellut yksittäisiä toimenpiteitä koskevat vältetyn annoksen tasot voivat olla hyödyllisiä lähtökohtia kun suunnitellaan suojelutoimenpiteitä kokonaisuudessaan (katso myös ICRP 96).

Koska säteilyvaaratilanteessa annokset voivat lyhyellä aikavälillä nousta hyvin korkeiksi, tulee vakavien suorien säteilyvaikutusten torjumiseen kiinnittää erityistä huomiota. Vakavissa säteilyvaaratilanteissa terveysvaikutuksiin perustuva tilannearvio ei ehkä ole riittävä vaan huomiota on kiinnitettävä yhteiskunnallisiin, taloudellisiin ja muihin vaikutuksiin. Toinen tärkeä asia on valmistautuminen paluuseen 'normaaleiksi' katsottaviin yhteiskunnallisiin ja taloudellisiin toimiin.

Valmiussuunnitelmia tehtäessä optimointiprosessissa käytetään enimmäistasoja. Korkein suunniteltu jäännösannos on säteilyvaaratilanteessa tyypillisesti 20 mSv ja 100 mSv välisellä vyöhykkeellä kuten kappaleessa 5.9.3 on esitetty. Kun arvioidaan kokonaissuojelustrategian käyttökelpoisuutta, verrataan suunniteltujen suojelutoimenpiteiden seurauksena olevia jäännösannoksia

enimmäistasoihin. Suojelustrategia, jonka avulla ei päästä enimmäistasojen alapuolelle, tulisi hylätä suunnitteluvaiheessa.

Valmiussuunnittelussa valitaan ne toimenpiteet, joihin ryhdytään automaattisesti kun säteilyvaaratilanne syntyy. Kun välittömistä toimista on tehty päätös, voidaan tarkastella ennustettujen jäännösannosten jakaumaa. Suojelutoimien tehokkuutta ja mahdollista tarvetta lisätoimiin arvioidaan enimmäistasojen avulla. Kaikkia altistuksia, sekä enimmäistason ylittäviä että sen alittavia, optimoidaan, mutta huomiota kohdistetaan erityisesti sen ylittävään altistuksiin.

Säteilyvaaratilanteessa voi olla useita erilaisia ihmisryhmiä, jotka kaikki altistuvat eri tavoin. Esimerkiksi etäisyys tapahtumapaikasta vaikuttaa sekä odotettavissa olevan altistuksen suuruuteen että suojelutoimenpiteiden laatuun ja kiireellisyyteen. Suojelusuunnitelmien tulee perustua kutakin ihmisryhmää edustaville henkilöille aiheutuvaan altistukseen (ICRP 101). Varsinaisen säteilyvaaratilanteen aikana täytyy suunniteltuja suojelutoimenpiteitä jatkuvasti mukauttaa tilanteeseen, niin että ne parhaiten huomioivat kaikkien altistuneiden ihmisryhmien todellisia olosuhteita. Raskaana oleviin naisiin ja lapsiin tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Valmiussuunnitelmia tulee valmistella kaikkia mahdollisia tilanteita varten, mutta suunnitelman yksityiskohtaisuus riippuu tapauksesta. Kaikkien valmiussuunnitelmien (kansallisten, alueellisten tai laitospöytäisten) tekeminen on portaittainen iteratiivinen prosessi, johon kuuluu tilanteen arviointi, suunnittelu, varojen ja työvoiman varaaminen, koulutus, harjoitukset, toimien kriittinen arviointi ja suunnitelmien korjaaminen. Säteilyvaaratilannetta koskevat valmiussuunnitelmat tulee yhdistää osaksi kaikkia muita uhkia koskevaa varautumista.

Säteilyvaaratilanteen tunnistamisen jälkeen seurataan valmiussuunnitelmaa johdonmukaisesti mutta joustavasti. Ensimmäiset suojelutoimenpiteet tehdään kyseessä olevaa tapahtumaketjua varten tehdyn valmiussuunnitelman mukaan ja ne perustuvat suunnitteluvaiheessa tapahtuneeseen optimointiin. Kun valmiussuunnitelman mukaiset toimet on aloitettu, suojelutoimenpiteitä jatketaan toistuvina arvioinnin, suunnittelun ja toimenpanon sykleinä.

Säteilyvaaratilanteessa siirrytään ajan myötä tilanteesta, jossa on hyvin niukasti tietoa, tilanteeseen, jossa tietoa voi olla ylen määrin. Samalla alttiina olevien henkilöiden odotukset suojelusta ja omista vaikutusmahdollisuuksista kasvavat nopeasti. Julkaisussa ICRP 96 säteilyvaaratilanne jaetaan kolmeen vaiheeseen: varhaisvaihe (joka voi jakautua hälytys- ja päästövaiheeseen), jälkivaihe (joka alkaa päästön päättyessä ja kun lähde on saatu hallintaan) ja myöhäisvaihe. Jokaisessa vaiheessa päätöksentekijöillä on epätäydellinen käsitys siitä, minkälaisia seurauksia tilanteesta aiheutuu tulevaisuudessa,

suojelutoimenpiteiden tehokkuudesta ja niiden henkilöiden huolista, joihin tilanne suoraan tai epäsuorasti kohdistuu. Siksi suojelutoimenpiteitä pitää kehittää ja muuttaa joustavasti ja niiden vaikutusta pitää arvioida säännöllisesti. Enimmäistasot ovat hyvä väline tässä arvioinnissa, koska niihin voi verrata sitä mitä tilanteesta tiedetään ja mitä suojelutoimenpiteillä on saavutettu. Säteilyvaaratilanteesta aiheutuvaa pitkäaikaista kontaminaatiota käsitellään vallitsevana altistustilanteena.

6.3 Vallitseva altistustilanne

Vallitseva altistustilanne on jo olemassa, kun päätös valvonnasta tehdään. Monista erityyppisistä vallitsevista altistustilanteista voi aiheutua altistusta, joka edellyttää säteilysuojelutoimenpiteitä, tai ainakin niiden harkitsemista. Radon asunnoissa tai työpaikoilla ja luonnon radioaktiivisia aineita sisältävät materiaalit (NORM) ovat tunnettuja esimerkkejä. Säteilysuojelua koskevia päätöksiä voidaan myös tarvita keinotekoisien radionuklidien aiheuttamassa altistustilanteessa. On tilanteita, joissa radionuklideja on jäänyt ympäristöön toiminnoissa, joita ei ole asianmukaisesti valvottu tai joissa maaperä on saastunut onnettomuuden seurauksena. Joissakin vallitsevissa altistustilanteissa ei selvästikään tarvita mitään toimenpiteitä. Valvontaviranomainen päättää siitä mitä vallitsevaa altistustilannetta ryhdytään valvomaan. Päätös riippuu siitä onko altistuslähde yleensä valvottavissa ja myös vallitsevista taloudellisista, yhteiskunnallisista ja kulttuuriolosuhteista. Altistuksen ja altistuslähteiden jättämistä vaatimusten ja valvonnan ulkopuolelle käsitellään luvussa 2.4.

Vallitsevat altistustilanteet voivat olla monimutkaisia sikäli, että niissä voi olla mukana useita altistusreittejä ja vuotuisten yksilöannosten jakauma on yleensä laaja. Annokset voivat vaihdella hyvin pienistä jopa useisiin kymmeniin millisieverteihin. Lisäksi altistuksen suuruuteen voi vaikuttaa merkittävästi altistuvan henkilön oma käyttäytyminen. Yksi tällainen esimerkki on radon asunnoissa. Toinen esimerkki on jonkin alueen pitkäaikaisesta saastumisesta aiheutuvien yksilöannosten suuri jakauma, jolloin annoksen suuruus heijastaa suoraan eroja alueen asukkaiden ravintotottumuksissa. Altistusreittien moninaisuus ja yksilöiden käyttäytymiserot voivat vaikeuttaa altistustilanteen hallintaa.

ICRP suosittelee, että yksilöannoksina ilmaistuja enimmäistasoja tulisi käyttää optimoinnissa vallitsevassa altistustilanteessa. Optimoitua suojelustrategiaa tai asteittain kehittyviä strategioita toteutettaessa yksilöannoksia pienennetään enimmäistason alapuolelle. Kuitenkaan ei toimenpiderajan alapuolellakaan olevia annoksia tule jättää huomiotta; myös sellaiset annokset pitää arvioida sen toteutukseksi, onko suojele optimoitu vai ovatko lisätoimenpiteet

tarpeen. Optimoinnin lopputasoa ei pidä määritellä etukäteen ja suojelun optimitaso riippuu tilanteesta. Valvontaviranomaiset päättävät tietyissä tilanteissa käytettävien enimmäistasojen oikeudellisesta sitovuudesta. Kun suojelutoimenpiteet on toteutettu, voidaan enimmäistasoja käyttää suojelustrategian tehokkuuden arvioimiseen.

Vallitsevissa altistustilanteissa suurinta suunniteltua jäännösannosta koskevat enimmäistasot ovat tyypillisesti vyöhykkeellä 1–20 mSv, kuten on esitetty kappaleissa 5.9.2 ja 5.9.3 ja taulukossa V. Altistuvien henkilöiden tulisi saada yleistä tietoa altistustilanteesta ja menetelmistä, joilla he voivat itse pienentää annostaan. Tilanteissa, joissa yksilön elintavat ovat tärkein altistukseen vaikuttava tekijä, voidaan tarvita yksilöllistä annosmittausta tai arviointia ja koulutusta. Tyypiesimerkkejä sellaisesta tilanteesta ovat eläminen saastuneella alueella ydinonnettomuuden tai säteilytapahtuman jälkeen.

Kun enimmäistasoja asetetaan vallitsevassa altistustilanteessa, on harkittava miten hyvin tilanteeseen voidaan vaikuttaa ja otettava huomioon aikaisemmat kokemukset toiminnasta samantapaisissa tilanteissa. Useimmissa vallitsevissa altistustilanteissa altistuvat henkilöt ja viranomaiset haluavat saada altistuksen 'normaalina' pidetylle tasolle, tai lähelle sitä. Näin on erityisesti kun altistus johtuu ihmisen toiminnasta syntyneestä materiaalista, esim. NORM-jätteistä tai onnettomuudesta aiheutuneesta saastumisesta.

6.3.1 Sisäilman radon asunnoissa ja työpaikoissa

ICRP antoi v. 1993 erityisiä suosituksia radonaltistuksesta (ICRP 65). Sen jälkeen lukuisat epidemiologiset tutkimukset ovat vahvistaneet jo melko kohtuullisille radon-222-konsentraatioille altistumisen aiheuttaman riskin. Eurooppalaiset, pohjoisamerikkalaiset ja kiinalaiset asuntoja koskevat tapaus-verrokki-tutkimukset myös osoittavat merkitsevän yhteyden keuhkosyövän riskin ja asuntojen radon-222-altistuksen välillä.

Nykyään kaivostyöntekijöiden epidemiologisista tutkimuksista ja asuntoja koskevista tapaus-verrokki-tutkimuksista saadut riskiarviot ovat huomattavan yhtenäisiä. Kaivostyöntekijöitä koskevat tutkimukset ja asuntoja koskevat tapaus-verrokki-tutkimukset antavat vankan perustan radonaltistuksesta aiheutuvan riskin arvioinnille. Toisaalta viimeaikaisista yhdistetyistä asuntoja koskevista tutkimuksista saadaan suora menetelmä sen riskin arvioimiseksi, jolle ihmiset altistuvat kotonaan, ilman että riskiä täytyy ekstrapoloida kaivostutkimuksista.

Tähän asti ICRP on käyttänyt asuntojen radonia koskeviin riskiarvioihin myös kaivostyöntekijöitä koskevia epidemiologisia tutkimuksia. Nyt ICRP suosittelee arvioinnissa käytettäväksi yhdistetyn asuntotutkimuksen tuloksia.

Kuitenkin kaivostyöntekijöitä koskeva tieto on arvokasta annos-vastetutkimuksissa ja tarkasteltaessa tupakoinnin ja muiden altistavien aineiden vaikutusta. Nykyinen epidemiologinen tietoviittaa siihen että, keuhkosityöpää lukuun ottamatta muut radon-222:n (ja sen hajoamistuotteiden) aiheuttamat riskit ovat vähäisiä.

ICRP:n suosituksissa radonaltistuksen valvottavuus on peruskysymys. Valvottavuuden perusteella päätellään milloin työpaikoilla, esimerkiksi maanalaisissa kaivoksissa, voidaan tarvita säteilysuojelua ja milloin tarvitaan toimenpiteitä radonaltistuksen vähentämiseksi asunnoissa. On useita syitä käsitellä radon-222:ta eri tavalla kuin muita altistuksen aiheuttajia. Altistusreitti on erilainen kuin muilla luonnon säteilylähteillä ja jotkut epidemiologiset ja dosimetriset seikat ovat radonille spesifisiä. Radon on monille henkilöille tärkeä altistustie ja sitä voidaan periaatteessa valvoa. ICRP 65:ssä annetut ohjeet radonilta suojelemiseksi kotona ja työpaikoilla ovat edelleen pääpiirteissään päteviä, mutta nyt optimointiperiaate ja toimenpiderajojen käyttö on entistä keskeisempää.

ICRP 65:ssä 10 mSv:n annos valittiin arvoksi, jolloin lähes aina oli tarpeen toimia altistuksen pienentämiseksi. Valvontaviranomaisten tuli optimoida suojelua yleisesti ja löytää alempi toimintataso väliltä 3–10 mSv. Efektiivinen annos muunnettiin kotona ja työpaikoilla sovellettaviksi radonpitoisuuksiksi. Ero pitoisuuksissa johtui lähinnä laskuissa käytettävistä oleskeluajoista. Asunnoissa pitoisuus oli välillä 200–600 Bq m⁻³, ja työpaikoilla vastaavasti 500–1500 Bq m⁻³. Optimoinnin tulos oli toimenpidearvojen asettaminen, so. arvojen, joiden ylittyessä vaaditaan annoksen pienentämistä.

Nyt ICRP suosittelee, että lähdekohtaisia säteilysuojeluperiaatteita sovelletaan radonaltistuksen valvontaan. Tämä tarkoittaa, että kansalliset viranomaiset asettavat enimmäistasot tukemaan suojelun optimointia. Vaikka nimelriski sievertiä kohti on hiukan muuttunut, jatkuvuuden ja käytännöllisyyden vuoksi ICRP säilyttää 10 mSv yksilöannoksen enimmäistason ylärajana ja entiset, ICRP 65:ssä annetut aktiivisuuspitoisuudet, 1500 Bq m⁻³ työpaikoilla ja 600 Bq m⁻³ asunnoissa (taulukko VII).

Kuten muidenkin lähteiden kyseessä ollen kansallisten viranomaisten tehtävä on asettaa omat kansalliset enimmäistasot, ottaen huomioon taloudelliset ja yhteiskunnalliset olosuhteet ja arvioida ajoittain, ovatko ne

Taulukko VII. Enimmäistasot radon-222:lle.

Tilanne	Enimmäistason yläraja: Aktiivisuuspitoisuus
Asunnot	600 Bq m ⁻³
Työpaikat	1500 Bq m ⁻³

edelleen tarkoituksenmukaisia. On pyrittävä kaikin käytännöllisin keinoin vähentämään radon-222-altistusta asunnoissa ja työpaikoilla kansallisten viranomaisten asettamien enimmäistasojen alapuolella tasolle, jolla suojelu voidaan katsoa optimoiduksi. Tehtävillä toimilla on tarkoitus aikaansaada huomattavia radonaltistuksen alenemia. Ei riitä että tehdään vain vähäisiä parannuksia, joilla pitoisuudet saadaan juuri kansallisten enimmäistasojen alapuolelle. Optimoinnin tuloksena pitoisuudet pitää saada enimmäistasojen alapuolella niin pieniksi kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Tämän jälkeen ei yleensä enää tarvita muita toimenpiteitä kuin mahdollisesti pitoisuuksien mittaaminen silloin tällöin sen varmistamiseksi, että tasot pysyvät alhaisina.

Radonin torjuntatoimet kodeissa ja muissa tiloissa jää usein yksittäisen omistajan velvollisuudeksi, mutta hänen ei voida edellyttää tekevän yksityiskohtaista optimointia. Siksi viranomaiset voivat määritellä enimmäistasojen lisäksi sellaiset tasot, joilla radonaltistuksen voidaan katsoa olevan optimoitu, so. jolloin lisätoimenpiteitä ei tarvita. ICRP:n mukaan on hyödyllistä määritellä radonalttiit alueet, joilla radonpitoisuudet rakennuksissa ovat todennäköisesti korkeammat kuin muualla maassa. Se auttaisi huomion kiinnittämiseen radonin siellä, missä tilanne on vaikein, ja toimet voidaan keskittää sinne, missä niistä on eniten hyötyä (ICRP 65).

Altistuminen radonille työssä olisi katsottava osaksi työperäistä altistusta, jos se on kansallisen enimmäistason yläpuolella, kun taas enimmäistason alapuolella olevaa altistusta ei pitäisi laskea mukaan työperäiseen altistukseen. Työturvallisuusstandardien kansainvälisen yhteensovittamisen edistämiseksi Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA) on ottanut käyttöön yksittäisen toimenpiderajan 1000 Bq m^{-3} (IAEA 1996). ICRP:n mielestä tätä arvoa voitaisiin käyttää radonaltistustilanteissa säteilysuojeluvaatimusten voimaantumisen rajana. Samalla se voisi olla raja, jonka avulla yhtenäistettäisiin mittaus- ja kirjanpitokäytäntöjä.

6.4 Alkion ja sikiön suojelu säteilyvaaratilanteessa ja vallitsevassa altistustilanteessa

ICRP:n julkaisussa 82 pääteltiin, että sikiö ei tarvitse muita suojelutoimenpiteitä kuin väestö yleensä. ICRP 82:ssa käsiteltiin sikiön ja pikkulasten säteily-suojelua ja annettiin käytännön ohjeita kohdun sisäiseltä säteilyaltistukselta suojautumiseen. ICRP 88:ssa on annettu äidin radionuklidisaannista aiheutuvat alkion ja sikiön annoskertoimet. Julkaisussa ICRP 90 todettiin, että uusi tieto kohdun sisäisestä riskistä pienillä annoksilla (muutamiin kymmeniin

mSv:iin asti) tuki aikaisemmin annettuja neuvoja, eikä tilanne sen jälkeenkään ole muuttunut.

6.5 Säteilysuojelukriteerien vertailu

Taulukossa VIII verrataan näiden uusien suositusten suojelukriteerejä ICRP 60:ssa ja sitä seuranneissa julkaisuissa olleisiin. Suunnitellussa altistustilanteessa suositukset säilyvät asiallisesti ennallaan. Vaaratilanteesta johtuvissa ja vallitsevissa altistustilanteissa uusia suosituksia sovelletaan laajemmin mutta entiset suositukset yleensä mahtuvat uusien suositusten enimmäistasojen sisälle. On huomattava, että muutamissa tapauksissa taulukossa olevat luvut tarkoittavat eri asioita, esimerkiksi säteilyvaaratilanteessa ICRP 60:ssä tarkoitetaan vältettyä annosta (interventiotasot) kun taas nykyisissä suosituksissa terminä on jäännösannos (enimmäistasot). Eroista huomautetaan taulukossa VIII.

6.6 Suositusten käytännön toteutus

Tässä kappaleessa käsitellään ICRP:n suositusten toteuttamista käytännössä ja siitä vastaavien organisaatioiden toimintaa. Koska organisaatiot ja niiden yhteistyö ovat erilaisia eri maissa, kappaleessa ei pyritä kattamaan kaikkia kysymyksiä vaan annetaan lähinnä esimerkkejä. IAEA ja OECD:n ydinenergiajärjestö, NEA, ovat antaneet ohjeita säteilysuojeluun tarvittavista yhteiskunnan perusrakenteista ja Kansainvälinen työjärjestö (ILO) sekä Maailman terveysjärjestö (WHO) taas yleisistä työterveys- ja työturvallisuusasioista.

6.6.1 Säteilysuojelun ja säteilyturvallisuuden perusrakenteet

Yhteiskunnassa tarvitaan tietyt perusrakenteet turvaamaan asiallinen suojelutaso. Perusrakenteisiin kuuluvat ainakin lainsäädäntö, valvontaviranomainen, toimiva johto jokaisessa yrityksessä, jonka toiminta liittyy säteilyyn (mukaan lukien laitteiden ja laitosten suunnittelu, käyttö ja purkaminen sekä toiminnat, joissa luonnonsäteilyn taso satunnaisesti nousee, kuten lento- ja avaruustoiminta) ja näiden yritysten työntekijät. Perusrakenteisiin voi kuulua muitakin säteilysuojelusta ja säteilyturvallisuudesta vastuussa olevia organisaatioita ja henkilöitä.

Lainsäädännön tulee mahdollistaa säteilyyn liittyvien yritysten valvonta ja osoittaa selkeästi säteilyturvallisuuteen liittyvät vastuut. Valvontaviranomaisen tulee olla vastuussa yritysten valvonnasta ja säännösten täytäntöönpanosta. Valvontaviranomaisen tulee olla selvästi erillään organisaatioista, jotka harjoittavat tai edistävät säteilyaltistusta aiheuttavaa toimintaa.

Taulukko VIII. ICRP:n vuosien 1990 ja 2007 perussuositusten suojelukriteerien vertailu (suluissa olevat luvut tarkoittavat ICRP:n julkaisuja: ICRP 60 ja sen jälkeiset julkaisut 62, 63, 65, 68, 75, 77, 81, 82, 94, 96, 98)

Altistustyyppi (julkaisu)	1990 perussuositukset ja sitä seuraavat julkaisut	Nykyiset suositukset
Suunnitellut altistustilanteet		
	Yksilöannosrajat^a	
Työperäinen altistus (60, 68, 75) myös säteilyvaaratilanteen jälkeiset toimenpiteet (96) – silmän mykiö – iho – kädet ja jalat – raskaana oleva nainen raskaudesta ilmoittamisen jälkeen	20 mSv/vuosi keskimäärin tietyn 5 v. jakson aikana ^c 150 mSv/vuosi ^b 500 mSv/vuosi ^b 500 mSv/vuosi ^b 2 mSv vatsan pinnalle tai 1 mSv radionuklidien saannista	20 mSv/vuosi keskimäärin tietyn 5 v. jakson aikana ^c 150 mSv/vuosi ^b 500 mSv/vuosi ^b 500 mSv/vuosi ^b 1 mSv alkiolle/sikiölle
Väestöaltistus (60) – silmän mykiö – iho	1 mSv/vuosi 15 mSv/vuosi ^b 50 mSv/vuosi ^b	1 mSv/vuosi 15 mSv/vuosi ^b 50 mSv/vuosi ^b
	Annosrajoitukset^a	
Työperäinen altistus (60)	≤ 20 mSv/vuosi	≤ 20 mSv/vuosi
Väestöaltistus (77, 81, 82) – yleinen – valvotut päästöt ja jätteiden loppusijoitus – pitkäikäisten jätteiden loppusijoitus – pitkäaikainen altistus – pitkäikäisistä nuklideista aiheutuva pitkäaikainen altistus	– ≤ 0,3 mSv/vuosi ≤ 0,3 mSv/vuosi ≤ 1 & ~ 0,3 mSv/vuosi ^f ≤ 0,1 mSv/vuosi ^h	< 1 mSv/vuosi tilanteen mukaan ≤ 0,3 mSv/vuosi ≤ 0,3 mSv/vuosi ≤ 1 & ~ 0,3 mSv/vuosi ^f ≤ 0,1 mSv/vuosi ^h
Lääketieteellinen altistus (62, 94, 98) – vapaaehtoiset biolääketieteellisessä tutkimuksessa, jos hyöty yhteiskunnalle on – erittäin pieni – vähäinen – kohtuullinen – huomattava – potilaiden tukijat	< 0,1 mSv 0,1–1 mSv 1–10 mSv > 10 mSv 5 mSv hoitojaksossa	< 0,1 mSv 0,1–1 mSv 1–10 mSv > 10 mSv 5 mSv hoitojaksossa

^a Efektiivinen annos, jos ei toisin mainita.

^b Ekvivalenttiannos.

^c Lisäehto: efektiivinen annos ei saa ylittää 50 mSv minkään yhden vuoden aikana. Raskaana olevien naisten työperäisessä altistuksessa on lisärajoituksia. Kun on kyse radionuklidien saannista, annos on efektiivinen annossitouma.

^d Vältetty annos.

^e Katso kappaleet 5.9 ja 6.2.

^f Annosrajoituksen tulisi olla pienempi kuin 1 mSv ja sopiva arvo olisi korkeintaan 0,3 mSv:n luokkaa.

^g Interventiotasoilla tarkoitetaan tietyn vastatoimenpiteen avulla vältettyä annosta. Interventiotasot ovat edelleen hyödyllisiä yksittäisen vastatoimenpiteen optimoinnissa kun suunnitellaan suojelustrategiaa. Ne täydentävät enimmäistasoja suojelustrategioiden arvioinnissa; enimmäistasojen arvot tarkoittavat jäännösannosta.

Altistustyyppit (julkaisut)	1990 perussuosituksen ja sitä seuraavat julkaisut	Nykyiset suositukset
Säteilyvaaratilanne		
	Interventiotasot^{a,d,g}	Enimmäistasot^{a,g}
Työperäinen altistus (60, 96) – henkiä pelastava (valistuneet vapaaehtoiset) – muut kiireelliset pelastustoimet – muut pelastustoimet	Ei annoksen rajoitusta ⁱ ~ 500 mSv; 5 Sv (iho) ⁱ ...	Ei annoksen rajoitusta, jos muille koituva hyöty ylittää pelastajan riskin ^k 1000 tai 500 mSv ^k ≤ 100 mSv ^k
Väestöaltistus (63, 96) – ravinto – joditablettien jakaminen – sisälle suojautuminen – tilapäinen evakuointi – pysyvä siirto – kaikki vastatoimenpiteet yhteensä kokonaissuojelu- strategian mukaisesti	10 mSv/vuosi ^l 50–500 mSv (kilpirauhanen) ^{h,l} 5–50 mSv/2 päivää ^l 50–500 mSv/1 viikko ^l 100 mSv ensimmäisenä vuotena tai 1000 mSv ^l ...	Suunnittelussa yleensä 20–100 mSv/vuosi tilanteesta riippuen ^e
Vallitsevat altistustilanteet		
	Toimenpidetasot^a	Enimmäistasot^{a,m}
Radon (65) – asunnoissa – työpaikoilla	3–10 mSv/vuosi (200–600 Bq m ⁻³) 3–10 mSv/vuosi (500–1500 Bq m ⁻³)	< 10 mSv/vuosi (< 600 Bq m ⁻³ /vuosi) < 10 mSv/vuosi (< 1500 Bq m ⁻³ /vuosi)
	Yleiset enimmäistasot^e	Enimmäistasot^{e,m}
NORM-materiaalit, luonnon taustasäteily, radioaktiiviset jäämät ihmisten elinympäristössä (82) Interventiot: – tuskin oikeutettu – voi olla oikeutettu – lähes aina oikeutettu	< ~ 10 mSv/vuosi > ~ 10 mSv/vuosi lähenee 100 mSv/vuosi	1–20 mSv/vuosi tilanteesta riippuen (kappale 5.9.2)

^h Sovelletaan, jos ei ole käytettävissä annosarviointimenetelmiä, joilla voidaan osoittaa että annosrajoja noudatetaan kaikissa ajateltavissa olevissa annosyhdistelmätilanteissa.

ⁱ ICRP 60.

^k ICRP 96. Alle 1000 mSv:n efektiivisillä annoksilla pitäisi vakavien determinististen vaikutusten olla vältettävissä; alle 500 mSv:n annoksilla muiden determinististen vaikutusten.

^l ICRP 63.

^m Enimmäistaso tarkoittaa jäännösannosta ja sitä käytetään suojelustrategioiden arviointiin, kun taas aikaisemmin suositellut interventiotasot tarkoittivat yksittäisellä suojelutoimenpiteellä vältettyä annosta

Säteilyhaittojen luonteesta johtuen lainsäädännöltä edellytetään monia erityispiirteitä ja valvontaviranomaiselta asiantuntemusta. Säteilykysymyksiä täytyy pystyä käsittelemään kunnollisesti, riittävä asiantuntemus pitää olla saatavilla eivätkä taloudelliset ja muut seikat saa asiattomasti vaikuttaa säteilyturvallisuutta koskeviin päätöksiin.

Päävastuu säteilyaltistuksen riittävän valvonnan järjestämisestä ja ylläpidosta on niiden laitosten johtolimillä, joiden toiminta aiheuttaa altistusta. Kun jokin toinen laitos on suunnitellut ja toimittanut laitteen tai laitoksen, sillä vuorostaan on velvollisuus pitää huolta, että se oikein käytettynä toimii kunnolla. Hallitusten tulee asettaa kansalliset viranomaiset, jotka antavat määräyksiä ja ohjeita säteilysuojelusta, huolehtivat niiden täytäntöönpanosta, järjestävät valvonnan ja joskus myös neuvontaa. Kansallisten säteilysuojeluviranomaisten pitää myös ottaa suora vastuu, mikäli muita vastuullisia ei ole.

On monia tilanteita, jolloin säteilystä vastuussa olevaa organisaation toimivaa johtoa ei ole. Esimerkiksi säteily ei johdu ihmisten toiminnasta tai toiminta on lopetettu ja vastuullista omistajaa ei enää ole. Sellaisissa tapauksissa viranomaisen tai jonkin muun elimen, jolle tehtävä on annettu, täytyy ottaa ne velvollisuudet, jotka yleensä kuuluvat yrityksen toimivalle johdolle.

Kaikissa organisaatioissa toimiva johto siirtää velvollisuuksia ja niihin liittyviä valtuuksia joissakin määrin työntekijöille. Kuitenkin toimivalla johdolla säilyy vastuu asiallisen säteilysuojelun järjestämisestä eikä tehtävien ja velvollisuuksien siirtäminen muille vapauta sitä vastuusta. Organisaatiossa tulee olla selkeät vastuulinjat aina huipulle saakka. Myös neuvovien ja viranomaisorganisaatioiden tulee olla vastuussa antamistaan neuvoista ja asettamistaan vaatimuksista. Viranomaisvaatimukset, käyttöohjeet, viranomaisten antamat hyväksynnit ja turvallisuusluvat ja muut hallinnolliset välineet eivät yksistään riitä turvaamaan hyvää säteilysuojelutasoa. Jokaisen alalla toimivan henkilön, yksittäisistä työntekijöistä ja heidän edustajistaan ylimpään johtoon, tulisi pitää säteilysuojelua ja vaaratilanteiden ehkäisyä osana jokapäiväistä toimintaansa. Onnistuminen tai epäonnistuminen näillä alueilla on vähintään yhtä tärkeää kuin yrityksen päätoiminta-alalla.

Yleisluontoiset viranomaisvaatimukset ja ohjeiden saaminen eivät vähennä käyttäjäorganisaation velvollisuuksia tai vastuuta, eikä sekään että valvontaviranomaiset määräisivät yksityiskohtaisesti kuinka suojelustandardeja noudatetaan. Kuitenkin käyttöä koskevat yksityiskohtaiset vaatimukset johtavat velvollisuuksien ja vastuun jonkinlaiseen *de facto* siirtymiseen käyttäjältä viranomaiselle. Pitkän päälle ne myös vähentävät käyttäjän aloitteellisuutta tehdä itse parannuksia. Hallintojärjestelmä, jossa käyttäjällä on enemmän selkeitä velvollisuuksia ja jossa käyttäjä pakotetaan vakuuttamaan valvontaviranomaiselle, että tarvittavia suojelumenetelmiä käytetään ja stan-

dardeja noudatetaan, toimii yleensä parhaiten. Siksi yksityiskohtaisten vaatimusten käyttö pitää aina perustella huolellisesti. Missään tapauksessa niitä ei saa koskaan pitää suojelun optimoinnin vaihtoehtona.

6.6.2 Ulkopuoliset asiantuntijat ja neuvot; toimivallan siirtäminen

Päävastuu säteilysuojelusta ja säteilyturvallisuudesta kuuluu säteilyyn liittyvää toimintaa harjoittavan yrityksen käyttöorganisaatiolle, joka tarvitsee säteilysuojelun asiantuntemusta. Ei kuitenkaan ole aina järkevää edellyttää, että käyttöorganisaatiolla itsellään on tätä osaamista. Käyttöorganisaatio voi käyttää konsulttien ja neuvovien organisaatioiden palveluja, etenkin jos käyttöorganisaatio on pieni ja säteilysuojeluasiat eivät ole kovin monimutkaisia.

Tällaiset järjestelyt eivät millään muotoa vapauta käyttöorganisaatiota vastuusta. Konsultin tai neuvoa antavan organisaation tehtävä on antaa tietoa ja neuvoja kun niitä tarvitaan. Toimivan johdon velvollisuus on neuvojen perusteella tehdä päätökset ja ryhtyä toimenpiteisiin. Yksittäisten työntekijöiden tulee olla sitoutuneita turvallisuuskulttuuriin ja kysellä jatkuvasti itseltään, ovatko he kohtuullisesti katsoen tehneet kaiken voitavan jotta toiminta olisi turvallista.

Samalla tavalla konsulttien ja neuvovien organisaatioiden käyttö ei mitenkään vähennä tai muuta valvontaviranomaisen vastuuta. Lisäksi on erityisen tärkeää, että valvontaorganisaatioiden käyttämällä konsulteilla ei ole mitään siteitä valvottaviin ja he voivat siten antaa puolueettomia neuvoja. Päätöksenteon läpinäkyvyys täytyisi myös aina pitää mielessä.

6.6.3 Raportointi poikkeavista tapahtumista

Onnettomuus- ja poikkeamaraportointi valvontaviranomaiselle ja palaute käyttäjille ovat korvaamattomia työkaluja vaaratilanteiden ehkäisyssä. Sellaisen järjestelmän toimivuus edellyttää keskinäistä luottamusta. Turvallisuussluvan myöntäminen on muodollinen vakuutus siitä, että viranomainen luottaa käyttäjään. Myös käyttäjän on voitava luottaa viranomaiseen. Kaikkia käyttäjiä on kohdeltava reilusti ja tasapuolisesti. Rehellistä raportointia jostain pulmasta, johon liittyy välitön korjaava toimenpide, tulisi rohkaista eikä rangaista siitä.

6.6.4 Johtamista koskevat vaatimukset

Organisaation johdon kirjallisista toimintaperiaatteista tulee käydä ilmi organisaation yksiselitteinen sitoutuminen turvallisuuteen ja sitä tulee toteuttaa perustamalla virallinen yksikkö säteilysuojelua varten, antamalla selkeitä

käyttöohjeita ja selkeää ja näkyvää tukea niille henkilöille, jotka ovat vastuussa säteilysuojelusta työpaikalla ja ympäristössä (ICRP 75). Johtoportaan tulee antaa sopivat suunnittelu- ja käyttökriteerit, määrittellä organisatoriset järjestelyt, jakaa selkeät vastuut toimintaperiaatteen täytäntöönpanosta ja aikaansaada toimintakulttuuri, jossa kaikki organisaation jäsenet ymmärtävät miten tärkeätä on rajoittaa sekä suunniteltua että potentiaalista säteilyaltistusta.

Onnettomuuksien ja vaaratilanteiden varalta pitää olla suunnitelmat. Suunnitelmien on oltava kirjallisia, niitä pitää ajoittain tarkistaa ja niiden pohjalta pitää järjestää harjoituksia. Varautumisen tulisi olla osa normaalia toimintaa. Vahingosta viisastumiselle täytyy luoda edellytykset.

Hyvän turvallisuuskulttuurin luominen edellyttää kaikkien työntekijöiden osallisuutta. Sitä edistetään tehokkaalla tiedonkululla ja lisäämällä henkilökunnan pätevyyttä niin, että kaikki työntekijät pystyvät antamaan vastuuntuntoisen ja tietoisien panoksen turvallisuustoimintaan. Turvallisuuskulttuurin luomiseen ja ylläpitämiseen tarvitaan ylimmän johdon näkyvää ja aktiivista johtajuutta. Tarkoitus ei ole vain estää onnettomuuksia vaan antaa työntekijöille mahdollisuus toimia turvallisesti ja kannustaa heitä siinä. Johdon tulee järjestää työntekijöille mahdollisuus antaa palautetta säteilysuojeluasioista ja huolehtia, että työntekijät ovat täysin mukana kehittämässä menetelmiä, joilla varmistetaan, että annokset ovat niin pieniä kuin kohtuudella on mahdollista saavuttaa.

Toinen yleinen toimivan johdon velvollisuus on tarjota työntekijöiden suojelua ja työterveyttä koskevat asiantuntijapalvelut. Niiden tulee antaa asiantuntijaohjeita ja järjestää tarpeellisia mittauksia, joiden määrä ja laatu on mitoitettu työn monimutkaisuuden ja sen mahdollisen vaarallisuuden mukaisesti. Asiantuntijapalvelun johtajalla täytyy olla suora yhteys toimivaan johtoon. Työterveyshuollon päätehtävät ovat samat kuin kaikilla muillakin aloilla.

6.6.5 Säteilysuojelustandardien noudattaminen

Käytännön säteilysuojelu perustuu säteilyannosten mittaamiseen tai arviointiin. Elinten ekvivalenttiannosta ja efektiivistä annosta ei voida mitata suoraan vaan ne täytyy johtaa mallien avulla, joihin usein kuuluu ympäristöön liittyviä, metaboolisia ja dosimetrisia komponentteja. Ihanteellisesti näiden mallien ja niihin valittujen parametrien tulisi olla realistisia, niin että niiden antamia tuloksia voisi kutsua 'parhaaksi arvioksi'. Silloin kun on mahdollista, tuloksiin liittyvät epävarmuudet tulee arvioida ja pohtia niiden merkitystä (kappale 4.4).

Kaikkien säteilysuojeluun liittyvien organisaatioiden tulee osoittaa että ne noudattavat omia päämääriään ja menettelyohjeitaan. Luvanhaltijan toimivan johdon tulee luoda menetelmä organisaation rakenteen ja menettelytapojen

arviointiin samaan tapaan kuin tehdään taloutta arvioitaessa. Kansallisten viranomaisten tulee tehdä omia samanlaisia sisäisiä arviointeja ja niillä on sen lisäksi velvollisuus ja valtuudet arvioida luvanhaltijan suojelun ja säädösten noudattamisen tasoa. Potentiaalista altistusta tulee aina tarkastella turvallisuusmenettelyn arvioinnin yhteydessä. Arviointiin kuuluu myös laadunvarmistusohjelmien läpikäyminen ja jonkin tyyppiset tarkastukset. Tarkastus on kuitenkin aina näyteluonteista, se ei voi kattaa kaikkea. Se on nähtävä toimenpiteenä, joka rohkaisee tarkastettuja panemaan talonsa kuntoon ja ylläpitämään sitä.

7 Säteilyn lääketieteellisestä käytöstä aiheutuva altistus: potilaat, potilaiden tukihenkilöt ja biolääketieteelliseen tutkimukseen osallistuvat vapaaehtoiset

Säteilyn lääketieteellisestä käytöstä aiheutuu altistusta potilaille taudinmäärityksen, toimenpiteiden ja sädehoidon yhteydessä. Henkilöt, kuten potilaan vanhemmat, muut perheenjäsenet ja ystävät, jotka hoivaavat ja tukevat potilaita, voivat myös altistua säteilylle. Tukihenkilöt esimerkiksi pitelevät lapsipotilaita taudinmääritykseen liittyvien toimenpiteiden aikana tai voivat olla lähellä potilasta isotooppihoidon jälkeen tai tykösädehoidon aikana. Potilaiden kotiuttamisen yhteydessä myös ulkopuoliset henkilöt voivat altistua, mutta altistuminen on lähes aina hyvin vähäistä. Vapaaehtoiset koehenkilöt biolääketieteellisessä tutkimuksessa osallistuvat samantyyppisiin säteilylle altistaviin tutkimuksiin kuin potilaat. Säteilyn lääketieteellisestä käytöstä aiheutuvalla altistuksella tarkoitetaan kaikkia edellä lueteltuja tapauksia. Tässä luvussa käsitellään seuraavia asioita:

- Yksilön altistuminen taudinmääritys-, toimenpide- ja hoitotarkoituksissa mukaan lukien alkion tai sikiön altistuminen säteilyn lääketieteellisen käytön yhteydessä potilaan ollessa raskaana tai pikkulapsen altistuminen, kun kyseessä on imettävä potilas.
- Potilaan perheenjäsenille ja ystäville (muille kuin työntekijöille) tieteen tahtoon aiheutunut altistus sairaalassa tai kotona, kun he hoivaavat ja tukevat potilaita, joille tehdään taudinmääritystä tai annetaan hoitoa.
- Vapaaehtoiselle koehenkilölle aiheutuva altistus biolääketieteellisen tutkimusohjelman puitteissa, kun hän ei saa siitä mitään suoranaista hyötyä.

Potilaana altistuminen säteilylle on suunniteltua altistusta, mutta se edellyttää erilaista suhtautumistapaa kuin säteilysuojelu yleensä suunnitellussa altistustilanteessa. Altistus on tarkoituksellista ja siitä on suoranaista hyötyä potilaalle. Sädehoidossa käytetään suuria säteilyannoksia potilaan hyväksi syövän ja muiden sairauksien hoidossa. Taudinmäärityksessä ja toimenpiteissä säteilysuojelulla pyritään välttämään tarpeetonta altistusta, kun taas sädehoidossa pyritään kohdistamaan tarpeellinen annos hoidettavaan kohde-tilavuuteen välttäen terveiden kudosten altistusta.

Säteilyn lääketieteellisen käytön yhteydessä säteilysuojelua toteutetaan arvioimalla toimenpiteen oikeutusta ja optimoimalla suojelua. ICRP 73:ssa

olevat suositukset säteilyn lääketieteellisen käytön turvallisuudesta ovat edelleen voimassa. Uusissa vuoden 2007 suosituksissa kiinnitetään huomiota tärkeisiin eroihin säteilysuojelun peruseräiteiden toteuttamisessa lääketieteessä ja kahdessa muussa altistustavassa, työperäisessä ja väestöaltistuksessa. Näitä eroja on muun muassa:

- Oikeutuseräitettä sovelletaan säteilyn lääketieteellisessä käytössä kolmella eri tasolla (kappale 7.1.1).
- Kun potilaan suojelua optimoidaan, hyödyn ja haitan saa sama henkilö, potilas, ja annos määrätään pääasiassa lääketieteellisten tarpeiden mukaan. Varsinaiset annosrajoitukset eivät siten ole järkeviä, päinvastoin kuin työperäisen altistuksen ja väestöaltistuksen kohdalla. Potilasaltistusta täytyy kuitenkin jotenkin hallita ja se tehdään käyttämällä potilaan säteilyaltistuksen vertailutasoja (ICRP 73 ja siihen liittyvä Supporting Guidance).
- Potilaskohtaista annoksen rajoittamista ei suositella, koska se voi tuottaa enemmän haittaa kuin hyötyä heikentämällä potilaan taudinmäärittystä tai hoitoa. Siten pääpaino on tutkimuksen tai hoidon oikeutusarvioinnissa ja suojelun optimoinnissa.

Potilaiden altistaminen säteilylle on tarkoituksellista. Sädehoitoa lukuun ottamatta tarkoitus ei ole annoksen aiheuttaminen vaan tiedon saaminen taudinmäärittystä varten tai toimenpiteen suorittaminen. Annos on kuitenkin aiheutettu tarkoituksellisesti eikä sitä voida loputtomasti pienentää heikentämättä lopputulosta. Säteilyn lääketieteellinen käyttö on myös luonteeltaan vapaaehtoista ja potilaan odotetaan saavan siitä suoraa terveydellistä hyötyä. Potilas tai hänen laillinen holhoajansa hyväksyy säteilyn lääketieteellisen käytön. Tämä päätös perustuu potilaalle annettuun informaatioon paitsi odotettavissa olevasta hyödystä, myös toimenpiteeseen liittyvistä riskeistä, säteily mukaan luettuna. Annettavan tiedon määrään tietoisien suostumispäätöksen tekemiseksi vaikuttavat altistuksen suuruus (onko kyse taudinmäärittämisestä, toimenpiteestä vai hoidosta) ja mahdolliset säteilyn sivuvaikutukset.

Lääkäreillä ja muilla potilasta säteilylle altistettaessa mukana olevilla terveydenhoidon ammattilaisilla on oltava säteilysuojelukoulutus, johon kuuluu fysiikan ja biologian perusteet. Vastuu potilaan altistuksesta on aina lääkärillä, jonka siksi täytyy olla tietoinen altistuksen riskeistä ja hyödyistä. Potilaalle aiheutuva ulkoinen altistus kohdistuu yleensä rajoitetulle alueelle ja on tärkeää, että hoitohenkilökunta on tietoinen siitä minkälaiselle annokselle säteilytysalueen kudokset altistuvat. On myös pidettävä huolta siitä, ettei tapahdu epätoivottuja kudosreaktioita.

7.1 Säteilylle altistavan toiminnon oikeutus

Potilaiden lääketieteellisessä altistuksessa tarvitaan erilaista, tavallista yksityiskohtaisempaa lähestymistapaa oikeutusharkintaan. Säteilyn lääketieteellisen käytön tulee olla oikeutettua, kuten kaiken suunnitellun säteilyaltistuksen, mutta tässä tapauksessa oikeutuksesta päättävät yleensä lääketieteen asiantuntijat eivätkä säteilysuojeluviranomaiset. Lääketieteellisen altistuksen tärkein tarkoitus on tuottaa enemmän hyötyä kuin haittaa potilaalle ja lisäksi on otettava huomioon altistuksesta johtuva haitta säteilyn käyttäjille ja muille henkilöille. Vastuu tietyn toimenpiteen oikeutuksesta on toimenpiteestä vastuussa olevalla lääkäriellä. Oikeutuskysymykset ovat tässä tapauksessa ICRP:n suositusten tärkein osa.

Säteilyn lääketieteellisessä käytössä sovelletaan oikeutusperiaatetta kolmella eri tasolla:

- Oikeutuksen ensimmäisellä tasolla säteilyn lääketieteellinen käyttö hyväksytään, koska se tuottaa enemmän hyötyä kuin haittaa potilaille. Oikeutuksen tätä tasoa pidetään seuraavassa itsestään selvänä eikä sitä käsitellä enää tässä yhteydessä.
- Oikeutuksen toisella tasolla määritellään ja oikeutetaan tietty toimenpide tiettyyn tarkoitukseen (esimerkiksi rintakehän röntgentutkimus potilaille, joilla on tietynlaisia oireita, tai ihmisryhmälle, jolla on riski saada sairaus, joka toimenpiteen avulla voidaan havaita ja hoitaa). Toisen tason oikeutuksen tarkoitus on arvioida voidaanko toimenpiteellä yleensä parantaa taudinmäärittystä tai hoitoa tai saada tarpeellista tietoa säteilylle altistuvista henkilöistä.
- Oikeutuksen kolmannella tasolla tietyn toimenpiteen täytyy olla oikeutettu yksittäiselle potilaalle (juuri tämän toimenpiteen käytön tulee aiheuttaa enemmän hyötyä kuin haittaa yksittäiselle potilaalle). Täten jokaisen yksittäisen altistuksen täytyy olla etukäteen oikeutettu, ottaen huomioon altistuksen tarkoitus ja kyseessä oleva potilas yksilöllisesti.

Oikeutuksen toista ja kolmatta tasoa käsitellään alla.

7.1.1 Toimenpiteen oikeutuksen arvioiminen

Säteilyn lääketieteelliseen käyttöön liittyvän toimenpiteen yleisestä oikeutuksesta päättävät kansalliset ja kansainväliset ammatilliset yhteisöt, yhteistyössä kansallisten terveys- ja säteilysuojeluviranomaisten ja vastaavien kansainvälisten organisaatioiden kanssa. Onnettomuuden tai tahattoman altistuksen mahdollisuus täytyy aina ottaa huomioon. Oikeutusarviointeja tulee

tarkastella aika ajoin uudelleen, kun saadaan lisää tietoa käytössä olevan toimenpiteen riskeistä ja tehokkuudesta sekä mahdollisista uusista toimenpiteistä.

7.1.2 Toimenpiteen oikeutuksen arvioiminen yksittäiselle potilaalle

Yksittäisen henkilön altistuksen oikeutuksesta päätettäessä täytyy tarkistaa, ettei haluttua tietoa ole jo olemassa ja että ehdotettu tutkimus on kaikkein sopivin menetelmä kyseessä olevan kliinisen tiedon hankkimiseksi. Kun tutkimuksessa käytetään suuria annoksia, kuten monimutkaisissa taudinmäärityksissä ja toimenpiteissä, yksilöllinen oikeutusarviointi on erityisen tärkeää ja siinä tulee ottaa huomioon kaikki käytettävissä oleva tieto. Tähän kuuluu ehdotetun toimenpiteen yksityiskohdat ja vaihtoehtoiset menetelmät, kyseessä olevan potilaan yksilölliset ominaisuudet, potilaalle aiheutuva annos ja mahdolliset tiedot aikaisemmista tai suunnitelluista tutkimuksista tai hoidoista. Oikeutusprosessia voidaan usein nopeuttaa määrittelemällä etukäteen tutkimuskriteerejä ja tekemällä luokituksia.

7.2 Suojelun optimointi lääketieteellisessä altistuksessa

ICRP suhtautuu lähdekohtaiseen suojeluun samalla periaatteella riippumatta lähteiden tyypistä. Suojelun optimointiin käytetään taudinmääritykseen ja toimenpiteisiin liittyen *potilaan säteilyaltistuksen vertailutasoja*, mutta yksilölliseen potilasannokseen ei sovelleta annosrajoituksia. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasojen avulla potilasannokset pidetään hallinnassa ja lääketieteellisen tarkoituksensa mukaisina.

7.2.1 Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot

Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasoja sovelletaan potilaiden säteilyaltistukseen, joka aiheutuu lääketieteellisestä kuvantamisesta. Niitä ei sovelleta sädehoidossa. Vertailutasoilla ei ole suoraa numeerista yhteyttä ICRP:n annosrajoihin tai -rajoituksiin. Käytännössä vertailutasoksi on valittu potilaille tai potilasta vastaaville fantomeille aiheutuvan annoksen havaitusta jakaumasta tiettyä prosentuaalista osuutta vastaava arvo. Lääketieteen ammattilaiset valitsevat arvot yhdessä kansallisten terveys- ja säteilysuojeluviranomaisten kanssa. Uudelleen arviointeja tehdään sellaisin väliajoin, että toisaalta muutoksia ei tule turhan usein ja että toisaalta pitkällä aikavälillä tapahtuvat muutokset annosten jakaumassa otetaan huomioon. Vertailutasot voivat olla maa- tai aluekohtaisia.

Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasoja käytetään lääketieteellisessä kuvantamisessa ilmaisemaan onko tavanomainen potilasannos tai annettu radioaktiivisen aineen määrä tietyssä toimenpiteessä epätavallisen suuri tai pieni. Jos näin on, tulee paikallisesti selvittää onko suojele optimoitu vai edellyttääkö tilanne korjaamista (ICRP 73). Vertailutasot tulee esittää helposti mitattavina potilasannokseen verrannollisilla suureilla. Seulontatutkimuksissa, kuten oireettomien naisten mammografiassa, voi olla aiheellista käyttää eri vertailutasoja kuin vastaavassa kliinisessä mammografiassa. Lisäohjeita on ICRP 73:ssa ja siihen liittyvässä Supporting Guidance -julkaisussa.

Periaatteessa voisi olla mahdollista määrätä ns. alempi potilaan säteilyaltistuksen vertailutaso, jonka alapuolella olevat annokset olisivat liian pieniä riittävän hyvän kuvan laadun saamiseksi. Kuitenkin sellaisia vertailutasoja on vaikea asettaa, koska muutkin seikat kuin annos vaikuttavat kuvan laatuun. Jos havaitut annokset tai annettavan radioaktiivisuuden määrät ovat jatkuvasti paljon vertailutasoja alemmat, täytyy tehdä paikallinen kuvien laadun arviointi.

Potilasannosten hallintaa toimenpideradiologiassa, tietokonetomografiassa ja digitaalisessa radiologiassa käsitellään ICRP:n julkaisuissa 85, 87 ja 93.

7.2.2 Säteihoito

Sädehoidossa optimointi ei tarkoita ainoastaan suunnitellun annoksen antamista kasvaimeen vaan myös kohdetilavuuden ulkopuolella olevien terveiden kudosten suojelemista (ICRP 44).

7.3 Efektiivinen annos säteilyn lääketieteellisen käytön aiheuttamasta altistuksesta

Efektiivinen annos on määritelty työntekijöiden ja väestön suojelemisen tarpeisiin. Näiden väestöryhmien ja lääketieteellisissä toimenpiteissä altistuvien potilaiden ikäjakaumassa voi kuitenkin olla suuri ero. Ikäjakauma vaihtelee myös lääketieteellisestä toimenpiteestä toiseen, riippuen siitä mitä sairautta tutkitaan. Siksi säteilylle altistavien tutkimusten ja hoitojen riskejä voidaan parhaiten arvioida käyttämällä alttiiksi joutuvien kudosten riskiarvoja kunkin toimenpiteen kohdalla ja potilaiden tyypillistä ikä- ja sukupuolijakaumaa. Efektiivisestä annoksesta voi kuitenkin olla hyötyä vertailtaessa erilaisista toimenpiteistä aiheutuvaa suhteellista annosta, vertailtaessa samanlaisten laitteiden ja menetelmien käyttöä eri sairaaloissa ja eri maissa sekä vertailtaessa eri laitteiden käyttöä tiettyyn tutkimukseen, edellyttäen että vertailussa on

iältään ja sukupuoleltaan samanlaisia potilasryhmiä tai käytetään samanlaista potilasta vastaavaa fantomia.

Lääketieteellisestä altistuksesta potilaille aiheutuvan efektiivisen annoksen arviointi ja tulkinta on vaikeaa, kun elimet ja kudokset altistuvat vain osittain tai altistuminen on hyvin heterogeenista, kuten tutkimuksissa ja toimenpiteissä.

7.4 Raskaana olevien potilaiden altistus

Ennen säteilyn lääketieteellistä käyttöä on tärkeää selvittää onko potilas raskaana. Lääketieteellinen altistus raskauden aikana edellyttää erityistä varovaisuutta, koska kehittyvä alkio ja sikiö ovat herkkiä säteilylle.

Oikein tehdyistä tutkimuksista ei sikiölle aiheudu merkittävää kuoleman, kehityshäiriöiden tai henkisen jälkeenjääneisyyden lisäriskiä. Kohdussa saadun altistuksen aiheuttaman elinikäisen syöpäriskin oletetaan olevan samansuuruinen kuin jos altistus olisi saatu pikkulapsena. Hoidossa käytettävät suuret annokset voivat aiheuttaa kehityshäiriöitä (katso kappale 3.4).

Raskaana olevalla potilaalla on oikeus tietää, minkä laatuaisia ja suuruisia vaikutuksia kohdun sisäinen altistus mahdollisesti aiheuttaa. Lähes aina kun säteilyä olisi syytä käyttää lääketieteellisessä tutkimuksessa, riski äidille siitä, ettei toimenpidettä suoriteta, on suurempi kuin mahdollinen riski alkion tai sikiölle. Kuitenkin jotkin menetelmät ja tietyt isotooppitutkimuksissa käytetyt radionuklidit (esimerkiksi radiojodi) voivat lisätä riskiä alkion tai sikiölle. Tästä on yksityiskohtaista opastusta julkaisussa ICRP 84.

Ennen kun potilaalle annetaan sädehoitoa tai tehdään joitakin toimenpiteitä vatsan alueella, on aina varmistettava, ettei potilas ole raskaana. Jos syöpä on kaukana lantion alueelta, potilaalle voidaan yleensä antaa sädehoitoa, mutta hoidon suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Alkion tai sikiölle odotettavissa oleva annos, mukaan laskettuna säteilyn siroava osuus, tulee arvioida. Lantion alueella olevia syöpiä voidaan harvoin saada kunnolla hoidetuksi sädehoidolla aiheuttamatta vakavia seurauksia tai kuolemaa alkion tai sikiölle.

Raskauden keskeytys säteilyaltistuksen vuoksi on yksilöllinen päätös, johon vaikuttavat monet seikat. Alle 100 mGy:n absorboitunut annos alkion/sikiölle ei saisi olla syynä raskauden keskeytykseen. Kun annos on sitä suurempi, raskaana olevan potilaan on saatava riittävästi tietoa, jotta hän voi tehdä tietoisin päätöksen omassa tilanteessaan. Näihin tietoihin kuuluvat arviot alkion tai sikiölle aiheutuneesta annoksesta ja siihen liittyvästä riskistä alkion tai sikiön kehitykselle tai syöpäriskistä myöhemmän elämän aikana.

Ennen syntymää aiheutuneen säteilyaltistuksen riskejä käsitellään julkaisussa ICRP 90 ja raskaana olevan potilaan altistusta ICRP 84:ssä ja 105:ssä, jossa pohditaan myös sitä, mitä on otettava huomioon harkittaessa raskauden keskeyttämistä säteilyaltistuksen jälkeen. Raskaana olevien naisten säteilyaltistusta biolääketieteellisessä tutkimuksessa käsitellään kappaleessa 7.7.

7.5 Onnettomuuksien ehkäisy ulkoisessa sädehoidossa ja tykösädehoidossa

Onnettomuuksien ehkäisyn tulee ulkoisessa sädehoidossa ja tykösädehoidossa olla oleellinen osa laitteen ja hoitopaikan suunnittelua ja siellä noudatettavia työskentelytapoja. Virheiden vaikutuksia ehkäistään käyttämällä useita toisiaan täydentäviä menettelyjä. Tämän ns. syvyyssuuntaisen turvallisuusperiaatteen tarkoitus on estää laitevikoja ja inhimillisiä erehdyksiä ja lieventää niiden seurauksia, jos niitä tapahtuu. ICRP on antanut runsaasti neuvoja potentiaalisen altistuksen todennäköisyyden pienentämiseksi ja onnettomuuksien ehkäisemiseksi (ICRP 76, 86, 97 ja 98).

7.6 Isotooppitutkimuksessa olleen tai isotooppihoitoa saaneen potilaan tukihenkilöiden suojele

Erilaisten sairauksien tutkimuksessa ja hoidossa käytetään radiolääkkeitä, jotka ovat avolähteiden muodossa ja niitä voidaan antaa potilaalle ruiskeena tai suun tai hengityksen kautta. Radiolääkkeet voivat jäädä kehoon kunnes ne puoliintuvat tai ne voivat poistua eri teitä, esimerkiksi virtsan mukana. Tykösädehoidossa käytettävät umpilähteet asetetaan potilaan kehon pinnalle tai sisälle.

Isotooppitutkimuksen jälkeen on hyvin harvoin tarvetta kiinnittää huomiota ulkopuolisten ihmisten altistumiseen. Jotkut isotooppihoidot, erityisesti ne joissa käytetään jodi-131:tä voivat kuitenkin aiheuttaa huomattavaa altistusta potilaita sairaalassa ja kotona tukeville ja hoivaaville henkilöille. He ovat periaatteessa väestöön kuuluvia henkilöitä ja heidän suojeleunsa tulee kiinnittää erityistä huomiota. Julkaisussa ICRP 94 annetaan ohjeita potilaiden kotiuttamisesta isotooppihoidon jälkeen. Niiden mukaan lapsia ja vierailijoita, jotka eivät osallistu varsinaiseen potilaan hoivaamiseen, tulee säteilysuojelutarkoituksissa kohdella kuten väestöä yleensä (väestöannosraja 1 mSv vuodessa). Henkilöille, jotka tukevat ja hoivaavat potilaita, 5 mSv:n annosrajoitus tapahtumaa kohti (esimerkiksi kotiuttaminen hoidon jälkeen) on kohtuullinen. Rajoituksia tulee käyttää joustavasti. Esimerkiksi vakavasti sairaan lapsen vanhemmille voi olla oikein sallia suurempia annoksia. Alle 15-vuotiaiden

kilpirauhanen on herkempi säteilylle kuin aikuisten. Siksi tulee pitää erityistä huolta siitä, että lapset ja raskaana olevat naiset eivät saa kontaminaatiota radiojodilla hoidetuilta potilailta.

Päätös siitä pidetäänkö potilas sairaalassa vai kotiutetaanko hänet tulee tehdä yksilöllisesti ja ottaen huomioon monia tekijöitä kuten potilaassa jäljellä oleva aktiivisuus, potilaan toiveet, perheolosuhteet (erityisesti onko perheessä lapsia), ympäristötekijät ja olemassa olevat säädökset ja ohjeet. ICRP 94:ssä todetaan, että virtsan varastointitankkien käyttö on tarpeetonta.

Ulkopuolisten henkilöiden tahaton altistuminen odotushuoneissa ja julkisessa liikenteessä ei yleensä edellytä erityistoimenpiteitä muiden potilaiden kohdalla kuin niiden, joita on hoidettu radiojodilla (ICRP 73 ja 94).

Yllä esitetyn kaltaista harkintaa voidaan periaatteessa käyttää tykösädehoidossa, kun potilaita hoidetaan pysyvästi asetettavilla suljetuilla säteilylähteillä (umpilähteellä). Kuitenkin saatavissa olevan tiedon mukaan suurimmassa osassa tapauksista tukihenkilöiden annos jää paljon alle 1 mSv vuodessa eikä mitään erityisiä varotoimia tarvita. Poikkeuksen muodostaa tilanne, jossa potilaan partneri on raskaana umpilähteiden asettamisen aikaan ja annos raskaana olevalle partnerille voi ylittää 1 mSv vuodessa (ICRP 98).

Jos potilas kuolee muutaman ensimmäisen kuukauden aikana umpilähteen asettamisen jälkeen, ruumiin tuhkaamisesta voi olla erilaisia seurauksia: joko radioaktiivinen aine säilyy potilaan tuhkassa, tai se haihtuu ilmaan ja krematorion työntekijät tai yleisö voi hengittää sitä. Nykytiedon mukaan tuhkaaminen voidaan sallia 12 kuukauden kuluttua jodi 125-lähteen asettamisen jälkeen (palladium 131:llä varoaika on 3 kuukautta). Jos potilas kuolee aikaisemmin, on ryhdyttävä erityistoimenpiteisiin (ICRP 98).

7.7 Vapaaehtoiset koehenkilöt biolääketieteellisessä tutkimuksessa

Vapaaehtoiset koehenkilöt ovat tärkeitä biolääketieteelliselle tutkimukselle. Joistakin tutkimuksista on suoranaista hyötyä sairauksien tutkimisessa, toisista saadaan tietoa lääkkeiden metaboliasta ja sellaisten radionuklidien metaboliasta, joita voidaan saada kontaminaationa työpaikalla tai ympäristössä. Vaikka kaikki tällainen tutkimus ei tapahdukaan lääketieteellisissä laitoksissa, ICRP laskee sen kuuluvaksi lääketieteelliseen altistukseen. ICRP:n julkaisussa 62 käsitellään biolääketieteellisen tutkimuksen vapaaehtoiisiin koehenkilöihin liittyviä eettisiä näkökohtia ja toimintatapoja ja tutkimuksiin osallistumisen oikeutusta. Kyseisessä julkaisussa selvitetään myös vapaaehtoiisiin sovellettavia annosrajoituksia eri olosuhteissa; niistä on lyhyt yhteenveto taulukossa VIII (luku 6).

Monissa maissa ei ole erityisesti kielletty raskaana olevien naisten osallistumista biolääketieteelliseen tutkimukseen. Kuitenkin heidän osallistumisensa on hyvin harvinaista eikä sitä tulisi sallia, jollei raskaus ole oleellinen osa tutkimusta. Tällaisissa tapauksissa on säteilyn käyttöä valvottava erityisen tiukasti alkion tai sikiön suojelemiseksi.

8 Ympäristön säteilysuojelu

Kiinnostus ympäristön suojeluun ja ihmisen toiminnan aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin on kasvanut viime vuosina. Samanaikaisesti on kehitetty erilaisia menetelmiä vaikutusten arviointiin. Myös ympäristön säteilysuojeluun kaivataan neuvoja ja opastusta, vaikkei mitään uutta tai erityistä huolta säteilyn vaikutuksesta ympäristöön olekaan ilmaantunut. ICRP on myös huomannut, ettei ympäristön radioaktiivisuutta koskevia asioita käsitellä kansainvälisesti yhtenäisellä tavalla ja uskoo, että sen tulee olla tällä alueella aktiivinen.

8.1 Ympäristön säteilysuojelun tarkoitus

Ympäristön säteilysuojelun päämäärien määrittely ei ole niin yksinkertaista kuin ihmisten säteilysuojelun päämäärien kohdalla. Yleisesti ajatellaan, että on tärkeää säilyttää biologinen monimuotoisuus, turvata lajien säilyminen ja suojella luonnollisia elinpaikkoja sekä elinyhteisöjen ja ekosysteemin terveyttä ja jatkuvuutta. Näitä päämääriä voidaan edistää monella eri tavalla, ja ionisoivan säteilyn rajoittaminen voi olla vain yksi pieni tekijä. Siksi on tärkeää pitää suhteellisuudentaju tallella, kun käsitellään ympäristön hyvinvointiin vaikuttavia tekijöitä.

ICRP on aikaisemmin käsitellyt ympäristöä vain radionuklidien kulkeutumisen yhteydessä ihmisen säteilyaltistukseen vaikuttavana tekijänä ja yleensä suunnitelluissa altistustilanteissa. Siinä yhteydessä on ajateltu, että ne ympäristön valvontaa koskevat säädökset, joita tarvitaan väestön suojelemiseksi, varmistavat että riskejä ei aiheudu muille eliölajeille. ICRP uskoo edelleen asian ilmeisesti olevan näin.

Nyt ICRP:n mielestä on kuitenkin syytä tarjota neuvoja kaikkia altistustilanteita varten. Samalla on tarpeen tarkastella erilaisia elinympäristöjä, riippumatta siitä onko niillä jotakin yhteyttä ihmisiin. Lisäksi muutamissa maissa edellytetään, että kansalliset viranomaiset pystyvät osoittamaan suoraan ja yksikäsitteisesti, että ympäristöä suojellaan myös säteilyn haitallisilta vaikutuksilta.

Siksi ICRP katsoo, että tarvitaan selkeä tieteellinen menettelytapa, jolla arvioidaan eri eliöihin kohdistuvan altistuksen ja annoksen sekä annoksen ja vaikutuksen välisiä suhteita ja vaikutusten seurauksia. ICRP käsitteli aihetta ensimmäisen kerran julkaisussa ICRP 91 ja tuli siihen johtopäätökseen, että kasvien ja eläinten säteilysuojelussa kannattaa käyttää hyväksi kokemuksia ihmisen säteilysuojelusta. Tällä alueella ICRP on muuntanut valtavan määrän tietoa käytännön ohjeiksi siitä miten voidaan valvoa erilaisia altistustilanteita.

Tällaisen johdonmukaisen menettelytavan etuna on, että jos tulee tarve muuttaa jotakin sen osaa, on mahdollista tutkia, mitä vaikutuksia yksittäisellä muutoksella voi olla muihin systeemin osiin ja koko systeemiin. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi silloin, kun saadaan uutta tietoa tai kokemusta käytännön sovellutuksista, tai kun yhteiskunnalliset asenteet muuttuvat. Menetelmällä on oltava numeeriset puitteet, joissa on muutamia tärkeitä avainkohtia, joihin voidaan verrata.

8.2 Tyypieläimet ja tyyppikasvit

Ihmisen säteilysuojelussa käytetään anatomisia ja fysiologisia vertailumalleja (ICRP 89). Samanlaisesta lähestymistavasta voisi olla hyötyä, kun kehitetään ohjeita muiden lajien säteilysuojeluun. Siksi ICRP työstää pientä joukkoa vertailueliöitä, *tyypieläimiä* ja *tyyppikasveja*, jotka elävät maa-, meri- ja makeavesiympäristöissä, ja niihin liittyviä tiedostoja. Vertailueliöiden avulla voidaan tarkastella altistuksen ja annoksen sekä annoksen ja vaikutuksen välisiä suhteita ja vaikutusten seurauksia.

Tyyppieläimiä tai tyyppikasveja voidaan pitää hypoteettisina eliöinä, joilla oletetaan olevan tietyn tyyppisen eläimen tai kasvin biologiset ominaisuudet ja määrätyt anatomiset, fysiologiset ja elintapaan liittyvät ominaisuudet. Jokaisen tyyppieläimen ja tyyppikasvin elinkaaren eri vaiheille ollaan parhailaan kehittämässä yksinkertaisia dosimetrisiä malleja ja niihin liittyviä tiedostoja. Samalla kerätään olemassa oleva tieto säteilyn vaikutuksista kullekin tyyppieläimelle ja -kasville.

Erityisesti pienillä annoksilla, joita useimmissa altistustilanteissa luultavasti aiheutuu, meillä on hyvin vähän tietoa annos-vastesuhteesta kaikilla muilla eliöillä paitsi nisäkkäillä. Tiedostot säteilyvaikutuksista ovat melko samanlaisia kuin kemiallista myrkyllisyyttä koskevat tiedostot, joissa tiettyyn vaikutukseen tarvittavat tasot ovat useita kertaluokkaa suurempia kuin mitä on useimmissa ympäristötilanteissa. Säteilyn kohdalla on olemassa toinenkin vertailukohta, luonnon taustasäteily, jolle eläimet ja kasvit altistuvat jatkuvasti. Siksi eläinten ja kasvien saamia lisäannoksia voidaan vertailla annosnopeuksiin, joiden tiedetään aiheuttavan tiettyjä biologisia vaikutuksia eläimiin ja kasveihin. Toisaalta näitä lisäannoksia voidaan vertailla niihin annosnopeuksiin, joille kasvit ja eläimet altistuvat luonnollisessa ympäristössään.

ICRP ei aio ehdottaa minkäänlaisia annosrajoja ympäristön säteilysuojelulle, vaan haluaa antaa aikaisempaa käytännöllisempiä neuvoja tuottamalla läpinäkyvällä tavalla tyyppieläimiä ja tyyppikasveja koskevaa tietoa.

Viitteet

IAEA. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.

ICRP 26. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26, Annals of the ICRP 1977; 1 (3).

ICRP 37. Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection. ICRP Publication 37, Annals of the ICRP 1983; 10 (2/3).

ICRP 44. Protection of the patient in radiation therapy. ICRP Publication 44, Annals of the ICRP 1985; 15 (2).

ICRP 55. Optimisation and decision-making in radiological protection. ICRP Publication 55, Annals of the ICRP 1989; 20 (1).

ICRP 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 1991; 21 (1–3).

ICRP 62. Radiological protection in biomedical research. ICRP Publication 62, Annals of the ICRP 1991; 22 (3).

ICRP 63. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63, Annals of the ICRP 1992; 22 (4).

ICRP 64. Protection from potential exposure: a conceptual framework. ICRP Publication 64, Annals of the ICRP 1993; 23 (1).

ICRP 65. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65, Annals of the ICRP 1993; 23 (2).

ICRP 68. Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. ICRP Publication 68, Annals of the ICRP 1994; 24 (4).

ICRP 73. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 73, Annals of the ICRP 1996; 26 (2).

ICRP 75. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 75, Annals of the ICRP 1997; 27 (1).

ICRP 76. Protection from potential exposures: application to selected radiation sources. ICRP Publication 76, Annals of the ICRP 1997; 27 (2).

ICRP 77. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77, Annals of the ICRP 1997; 27 (Suppl).

ICRP 79. Genetic susceptibility to cancer. ICRP Publication 79, Annals of the ICRP 1998; 28 (1–2).

ICRP 81. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81, Annals of the ICRP 1998; 28 (4).

ICRP 82. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82, Annals of the ICRP 1999; 29 (1–2).

ICRP 83. Risk estimation for multifactorial diseases. ICRP Publication 83, Annals of the ICRP 1999; 29 (3–4).

ICRP 84. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84, Annals of the ICRP 2000; 30 (1).

ICRP 85. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85, Annals of the ICRP 2000; 30 (2).

ICRP 86. Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy. ICRP Publication 86, Annals of the ICRP 2000; 30 (3).

ICRP 87. Managing patient dose in computed tomography. ICRP Publication 87, Annals of the ICRP 2000; 30 (4).

ICRP 88. Doses to the embryo and embryo/fetus from intakes of radionuclides by the mother. ICRP Publication 88, Annals of the ICRP 2001; 31 (1–3).

ICRP Supporting Guidance. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. ICRP Supporting Guidance 2, Annals of the ICRP 2001; 31(4).

ICRP 89. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. ICRP Publication 89, Annals of the ICRP 2002; 32 (3/4).

ICRP 90. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus). ICRP Publication 90, Annals of the ICRP 2003; 33 (1/2).

ICRP 91. A framework for assessing the impact of ionising radiation on non-human species. ICRP Publication 91, Annals of the ICRP 2003; 33 (3).

ICRP 92. Relative biological effectiveness (RBE), quality factor (Q), and radiation weighting factor (w_R). ICRP Publication 92, Annals of the ICRP 2003; 33 (4).

ICRP 93. Managing patient dose in digital radiology. ICRP Publication 93, Annals of the ICRP 2004; 34 (1).

ICRP 94. Release of patients after therapy with unsealed sources. ICRP Publication 94, Annals of the ICRP 2004; 34 (2).

ICRP 95. Doses to infants from ingestion of radionuclides in mothers' milk. ICRP Publication 95, Annals of the ICRP 2004; 34 (3/4).

ICRP 96. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96, Annals of the ICRP 2005; 35 (1).

ICRP 97. Prevention of high-dose-rate brachytherapy accidents. ICRP Publication 97, Annals of the ICRP 2005; 35 (2).

ICRP 98. Radiation safety aspects of brachytherapy for prostate cancer using permanently implanted sources. ICRP Publication 98, Annals of the ICRP 2005; 35 (3).

ICRP 99. Lowdose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99, Annals of the ICRP 2005; 35 (4).

ICRP 101. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and The optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101, Annals of the ICRP 2006; 36 (3).

ICRP 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 2007; 36 (2–4)

ICRP 105. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105, Annals of the ICRP 2007; 37 (6).

UNESCO. The Precautionary Principle. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 2005.

LIITE SÄTEILYSUOJELUN KESKEISTÄ SANASTOA

Absorboitunut annos, D (Absorbed dose)

Ionisoivasta säteilystä aineen massa-alkioon siirtynyt keskimääräinen energia jaettuna tämän alkion massalla. Absorboituneen annoksen yksikkö on gray (Gy; J kg⁻¹).

Adaptiivinen vaste (Adaptive response)

Säteilyaltistuksen laukaisema soluvaste, jonka vaikutuksesta solu kestää paremmin jälkeensä saatua säteilyannosta.

Aerodynaamisen halkaisijan aktiivisuusjakauman mediaani

(Activity Median Aerodynamic Diameter (AMAD))

Sellainen aerodynaaminen halkaisija, jota suurempiin hiukkasiin puolet tietyn aerosolin aktiivisuudesta on kiinnittynyt.

Aktiivinen (punainen) luuydin (Active (red) bone marrow)

Verisolut syntyvät punaisessa luuytimessä.

Aktiivisuus, A (Activity)

Tarkasteltavassa ainemäärässä tapahtuvien spontaanisten ydinmuutosten lukumäärä aikayksikössä. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (1 s⁻¹).

Altistustyyppit (Categories of exposure)

ICRP erottelee kolme eri säteilyaltistustyyppiä: työperäinen altistus, väestöaltistus ja potilaiden lääketieteellinen altistus.

Altistuvat henkilöt (Exposed individuals)

ICRP jakaa altistuvat henkilöt kolmeen ryhmään: säteilytyötä tekevät työntekijät, väestö yleensä, ja lääketieteellisissä toimenpiteissä säteilylle altistuvat potilaat ja heitä tukevat omaiset.

Annoksen ja annosnopeuden vaikutustekijä (DDREF)

(Dose and dose-rate effectiveness factor)

Päätelyyn perustuva vähennystekijä, jota ICRP soveltaa pieniin annoksiin ja annosnopeuksiin, koska niiden aiheuttama biologinen vaikutus annosyksikköä kohti on yleensä suhteellisesti vähäisempi kuin suurten annosten ja annosnopeuksien.

Annosekvivalentti, H (Dose equivalent)

Kudokseen absorboituneen annoksen D ja säteilylajista ja säteilyn energiasta riippuvan laatukertoimen Q tulo; $H = DQ$. Annosekvivalentin yksikkö on $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja yksikön nimi on sievert (Sv).

Annoskertymä (Committed dose)

Kehoon yhdellä kerralla joutuneesta radioaktiivisesta aineesta aiheutuva säteilyannos tietyn ajan kuluessa. Kertymäaikana (τ) käytetään 50 vuotta aikuisille ja lapsille aikaa 70 vuoden ikään asti. Annoskertymän yksikkö on $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja yksikön nimi sievert (Sv). Erityisesti:

Efektiivisen annoksen kertymä, $E(\tau)$ (Committed effective dose)

Annoskertymä, kun annossuurena on efektiivinen annos.

Ekvivalenttiannoksen kertymä, $H_T(\tau)$ (Committed equivalent dose)

Annoskertymä, kun annossuurena on ekvivalenttiannos.

Annosmuuntokerroin (Dose coefficient)

Kerroin, jolla radioaktiivisen aineen saanti muunnetaan annokseksi (Sv/Bq). Joskus nimitystä käytetään tarkoittamaan muitakin suureita, jotka yhdistävät aktiivisuuden annokseen tai annosnopeuteen, kuten esimerkiksi tietyn nuklidin pinta-ala-kohtaisen laskeuman ulkoiseen annosnopeuteen tietyllä korkeudella maanpinnan yläpuolella.

Annosraja (Dose limit)

Efektiivisen annoksen tai ekvivalenttiannoksen arvo, jota suunnitellussa altistustilanteessa ei tietyssä ajassa saa ylittää.

Annosrajoitus (Dose constraint)

Suunnittelussa käytettävä säteilylähdekohtainen yksilöannoksen rajoitus, jolla suojellaan tietylle lähteelle eniten altistuvia yksilöitä. Annosrajoitusta käytetään myös ylärajana optimoitaessa suojelua tietyn lähteen aiheuttamalta säteilystä. Työperäisen altistuksen ollessa kyseessä vain sellaiset työmenetelmät ja -olosuhteet, joissa annosrajoitus alittuu, voidaan hyväksyä ja niitä edelleen optimoidaan. Väestöaltistuksen ollessa kyseessä, mistään suunnitellun toiminnan valvotusta lähteestä ei väestölle saa tulla annosrajoitusta suurempaa altistusta.

Annositouma, E_c (Dose commitment)

Toiminnasta tiettyinä, esim. yhden vuoden aikana, tai tietystä kertatapahtumasta aiheutuva säteilyannos henkeä kohti äärettömän pitkän ajan kuluessa.

Jos esim. päästö jatkuu rajattoman pitkän ajan tasaisella nopeudella, on tulevaisuudessa maksimivuosiannos henkeä kohti tietyllä väestölle sama kuin yhden vuoden päästöstä johtuva annositouma populaation koon muutoksista riippumatta.

Becquerel, Bq (Becquerel)

Aktiivisuuden SI-yksikkö, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$

Deterministinen vaikutus (Deterministic effect)

Katso 'Suora vaikutus'.

Edustava henkilö (Representative Person)

Tietyllä säteilylähteelle eniten altistuvan väestöryhmän yksilö, jonka saama annos on edustava tämän väestöryhmän yksilöille (ICRP 101). Termi tarkoittaa samaa ja korvaa aikaisemmin käytetyn termin 'kriittisen ryhmän keskimääräinen jäsen'.

Efektiivinen annos, E (Effective dose)

Kudosten tai elinten painotuskertoimilla w_T kerrottujen ekvivalenttiannosten H_T summa, joka voidaan esittää seuraavilla yhtälöillä:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad \text{tai} \quad E = \sum_T w_T H_T$$

jossa H_T tai $w_R D_{T,R}$ on ekvivalenttiannos kudoksessa tai elimessä T ja w_T elimen painotuskerroin. Efektiivisen annoksen yksikkö on $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja yksikön nimi sievert (Sv).

Ekvivalenttiannos, H_T (Equivalent dose)

Säteilyn painotuskertoimilla w_R kerrottujen kudoksen tai elimen keskimääräisten absorboituneiden annosten $D_{T,R}$ summa,

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

jossa w_R on säteilyn painotuskerroin säteilylaadulle R ja $D_{T,R}$ on säteilyn laadusta R aiheutuva keskimääräinen absorboitunut annos kudokselle tai elimelle T. Ekvivalenttiannoksen yksikkö on $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja yksikön nimi sievert (Sv).

Elimen painotuskerroin, w_T (Tissue weighting factor)

Kudoksen tai elimen suhteellista säteilyhaittaa kuvaava tekijä, jolla kudoksen tai elimen ekvivalenttiannos kerrotaan efektiivistä annosta laskettaessa.

Elinten ja kudosten painotuskertoimet on määritelty siten, että niiden summa on yksi:

$$\sum_T w_T = 1$$

Eloonjääneiden seurantatutkimus (Life Span Study, LLS)

Hiroshiman ja Nagasakin atomipommien eloonjääneiden uhrien pitkäaikainen terveysvaikutustutkimus.

Energiansiirtokyky, L tai LET (Linear energy transfer)

Tarkasteltavan varauksisen hiukkasen ja aineen elektronien välisistä törmäyksistä aiheutuva hiukkasen energian menetys, ts. hiukkasen matkalla dl aineessa menettämä keskimääräinen energia dE jaettuna tällä matkalla:

$$L = \frac{dE}{dl}$$

Energiansiirtokyvyn yksikkö on $J \cdot m^{-1}$, usein käytetään myös $keV \cdot \mu m^{-1}$.

Gray, Gy (Gray)

Absorboituneen annoksen SI-yksikkö, $1 Gy = 1 J \cdot kg^{-1}$.

Haitta (Detriment)

Kaikki väestöryhmän jäsenten ja heidän jälkeläistensä terveydelle koituvat vahingolliset vaikutukset, kun ryhmä on altistunut säteilylle. Haitan tärkeimmät osatekijät ovat satunnaiset ilmiöt: kuolemaan johtavan syövän todennäköisyys, ei-kuolemaan johtavan syövän painotettu todennäköisyys, vakavien perinnöllisten vaikutusten painotettu todennäköisyys ja menetetyin elinajan pituus.

Henkilöannosekvivalentti, $H_p(d)$ (Personal dose equivalent)

Käyttösuure: annosekvivalentti tietyssä kehon kohdassa syvyydellä d kehon pehmytkudoksessa (jota yleensä kuvataan ns. ICRU-pallolla). Kehon kohdaksi määritellään yleensä se paikka, missä henkilöannosmittaria pidetään. Henkilöannosekvivalentin yksikkö on $J \cdot kg^{-1}$.

Indusoitunut perimän epävakaisuus (Induced genomic instability)

Solun tilan muuttuminen, jossa mutaatioiden tai muiden perimään liittyvien spon-taanien muutosten määrä kasvaa usean myöhemmän solusukupolven aikana.

Jäännösannos (Residual dose)

Annos, joka oletetaan aiheutuvan tulevaisuudessa, kun vastatoimenpiteet on lopetettu (tai kun on päätetty, ettei mitään vastatoimenpiteitä tehdä).

Kaksinkertaistumisannos, DD (Doubling dose)

Sellainen sukusoluannos, joka tarvitaan perinnöllisten mutaatioiden taajuuden kaksinkertaistumiseen verrattuna spontaaneihin mutaatioihin kontrollipopulaatiossa. Kaksinkertaistumisannos määritetään absorboituneena annoksena.

Kerma, K (Kerma)

Varauksettomien hiukkasten ainealkiossa tuottamien varauksisten hiukkasten syntyhetken liike-energioiden summa dE_{tr} jaettuna tämän alkion massalla dm :

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Kerma on ei-satunnainen suure ja dE_{tr} on kineettisten energioiden summan odotusarvo. Kerman yksikkö $J \cdot kg^{-1}$ ja yksikön nimi on gray (Gy).

Kertymä (hiukkaskertymä), Φ (Fluence, particle fluence)

Määrittämyspisteen ympärille kuviteltuun pieneen palloon tulevien hiukkasten määrä dN jaettuna tämän pallon isoympyrän alalla da :

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Kollektiivinen annos (Collective dose)

Katso 'Kollektiivinen efektiivinen annos'.

Kollektiivinen efektiivinen annos, S (Collective effective dose)

Tietystä säteilylähteestä aiheutuva kollektiivinen efektiivinen annos, joka koostuu välillä E_1 ja E_2 olevista yksilöiden efektiivisistä annoksista tietyllä aikavälillä ΔT on

$$S(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

Kollektiivinen efektiivinen annos voidaan arvioida summana $S = \sum_i E_i N_i$, missä E_i on ryhmän i keskimääräinen efektiivinen annos ja N_i on ryhmän henkilöiden lukumäärä. Aikaväli ja niiden henkilöiden lukumäärä, joiden efektiiviset annokset lasketaan yhteen, olisi aina erikseen mainittava. Kollektiivisen efektiivisen annoksen yksikkö on $J \cdot kg^{-1}$ ja yksikön erityisnimi on mansievert (man Sv).

Niiden henkilöiden lukumäärä $N(E_1, E_2, \Delta T)$, joiden efektiiviset annokset ovat välillä E_1 ja E_2 , on:

$$N(E_1, E_2, \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

ja näiden henkilöiden keskimääräinen efektiivinen annos $\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T)$ aikavälillä ΔT on:

$$\bar{E}(E_1, E_2, \Delta T) = \frac{1}{N(E_1, E_2, \Delta T)} \int_{E_1}^{E_2} E \left[\frac{dN}{dE} \right]_{\Delta T} dE$$

Kudoksen tai elimen keskimääräinen absorboitunut annos, D_T

(Mean absorbed dose in a tissue or organ)

$$D_T = \frac{\varepsilon_T}{m_T}$$

missä ε_T on kudokseen tai elimeen T siirtynyt keskimääräinen kokonaisenergia ja m_T on kyseisen kudoksen tai elimen massa.

Kudosvaikutus (Tissue reaction)

Katso 'Suora/deterministinen vaikutus'.

Käyttösuureet (Operational quantities)

Ulkoisesta säteilystä aiheutuvan altistuksen seurannassa ja altistustilanteiden tutkimisessa käytettävät suureet. Sisäisestä säteilystä aiheutuvan altistuksen määrittämiseen ei ole määritelty sellaisia suureita, joilla voitaisiin suoraan määrittää ekvivalenttiannos tai efektiivinen annos. Tällöin käytetään erilaisia epäsuoria menetelmiä, joissa mitataan aktiivisuutta ja sovelletaan biokineettisiä laskentamalleja.

Laatukerroin, $Q(L)$ (Quality factor)

Kerroin, joka kuvaa säteilyn biologista vaikuttavuutta ja joka perustuu varauksisten hiukkasten kudoksessa aiheuttamaan ionisaatiotiheyteen hiukkasen radalla. Q määritellään rajattoman energiasiirtokyvyn avulla:

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & L < 10 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 0.32 L - 2.2 & 10 \leq L \leq 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \\ 300/\sqrt{L} & L > 100 \text{ keV}/\mu\text{m} \end{cases}$$

Säteilyn painotuskerroin w_R , jota käytetään ekvivalenttiansiirtoannoksen laskemisessa, on syrjäyttänyt laatukertoimen, mutta laatukerrointa käytetään edelleen säteilyaltistuksen seurannassa käyttösuureiden laskemisessa.

LET (LET)

Katso 'Energiansiirtokyky'.

Lineaarinen kynnyksetön malli, LNT (Linear-non-threshold model)

Annosvastemalli, joka perustuu olettamukseen, että pienten annosten alueella kaikki nollaa suuremmat lisäännokset lisäävät syövän riskiä ja/tai perinnöllisiä sairauksia samassa suhteessa kuin annos kasvaa.

Lineaaris-kvadraattinen annosvaste (Linear-quadratic dose response)

Tilastollinen malli, jonka mukaan riski jonkin vaikutuksen esiintymiselle (esim. sairaus, kuolema tai epänormaalisuus) on kahden komponentin summa, toinen niistä on verrannollinen annokseen (lineaarinen termi) ja toinen annoksen neliöön (kvadraattinen termi).

Luonnon radioaktiivisia aineita sisältävä materiaali, NORM

(Naturally occurring radioactive material)

Radioaktiiviset materiaalit, joissa ei ole merkittäviä määriä muita kuin luonnon radioaktiivisia aineita. Materiaalien, joiden luonnon radioaktiivisten aineiden määrä on jonkin prosessin vuoksi muuttunut, katsotaan myös kuuluvan NORM-materiaaleihin.

Luvanhaltija (Licensee)

Henkilö, yhteisö, yritys, laitos tai vastaava, jolla on voimassa oleva toimivaltaisen viranomaisen myöntämä lupa säteilyn tai ydinenergian käyttöön.

Lähde (Source)

Kokonaisuus, jonka säteilysuojelua voidaan optimoida, kuten röntgenlaitteisto tai jonkin laitoksen päästöt ympäristöön. Lähde voi tarkoittaa myös yksittäistä säteilylähdettä, kuten säteilyä synnyttävää laitetta ja umpilähdettä, ja yleisemmin säteilyaltistuksen aiheuttajaa.

Lääketieteellinen altistus (Medical exposure)

Potilaiden altistuminen osana heidän omaa lääketieteellistä tai hammaslääketieteellistä taudinmäärittäystä tai hoitoa, sellaisten hoitohenkilökuntaan kuuluvien henkilöiden altistus, jotka altistumisestaan tietäen ja vapaaehtoisesti

osallistuvat potilaiden tukemiseen sekä biolääketieteellisiin tutkimusohjelmiin osallistuvien vapaaehtoisten koehenkilöiden altistus.

Monitekijäiset sairaudet (Multifactorial diseases)

Sairaudet, joissa yksittäisen vamman taustalla on sekä geneettinen alttius että ympäristöön liittyviä tekijöitä.

Nimellinen riskikerroin (Nominal risk coefficient)

Keskimääräinen elinikäisen riskin arvio väestölle, jonka ikä- ja sukupuolikoostumus on edustava.

Naapurisoluvaikutus (Bystander effect)

Säteilytetyistä soluista tulevien signaalien vaikutus vieressä oleviin säteilyttämättömiin soluihin.

Odotettavissa oleva annos (Projected dose)

Annos, jonka olisi odotettavissa, jos tehtäisiin jokin tietty tai useampi vastatoimenpide, tai erityisesti, jos mitään vastatoimenpiteitä ei tehtäisi.

Oikeutus (Justification)

Prosessi, jossa määritetään, onko (1) suunniteltu, säteilyaltistusta aiheuttava toiminta kokonaisedun mukaista, ts. onko aloitettavasta tai jatkettavasta toiminnasta aiheutuva hyöty yksilöille tai yhteiskunnalle suurempi kuin toiminnan aiheuttama haitta (mukaan lukien säteilyhaitta); tai (2) tuottavatko suunnitellut korjaavat toimenpiteet vaaratilanteessa tai vallitsevassa altistustilanteessa enemmän hyötyä kuin haittaa ts. onko korjaavien toimenpiteiden aloittamisesta tai jatkamisesta koituva hyöty yksilöille ja yhteiskunnalle (mukaan lukien säteilyhaitan pieneneminen) suurempi kuin vastatoimenpiteiden korjaavien toimenpiteiden aiheuttamat kustannukset ja muut haitat.

Optimointi (suojelun ja turvallisuuden)

(Optimisation of protection and safety)

Prosessi, jonka tuloksena määritetään, millä suojelun ja turvallisuuden tasolla altistus ja potentiaalisen altistuksen todennäköisyys ja suuruus pidetään niin pieninä kuin käytännöllisin toimenpitein on mahdollista. Tällöin otetaan huomioon myös taloudelliset ja yhteiskunnalliset tekijät.

Perusfantomi (Reference phantom)

Ihmiskehoa kuvaavat mies- ja naispuoliset vokselifantomit, joiden anatomiset ja fysiologiset ominaisuudet on määritelty ICRP:n julkaisussa no. 89

(ICRP 2002). Vokselifantomi on kolmiulotteinen tietokonepohjainen ihmistä kuvaava fantomi, joka perustuu lääketieteelliseen tomografiakuvantamiseen ja jossa kuva muodostuu kolmiulotteisista tilavuusalkioista (vokseleista). Vokseleilla on kuvaamansa elimen tai kudoksen osan tiheys ja atomaarinen koostumus.

Perushenkilö (Reference Person)

Kuviteltu henkilö, jonka elinten ja kudosten ekvivalenttiannokset on laskettu perusmiehen ja perusnaisen vastaavien annosten keskiarvoina. Perushenkilön ekvivalenttiannoksia käytetään laskettaessa efektiivinen annos kertomalla ekvivalenttiannokset niitä vastaavien kudosten painotuskertoimilla.

Perusmies ja perusnainen (perusyksilö)

(Reference Male and Reference Female (Reference Individual))

Kuvitellut mies- ja naishenkilöt, joilla on ICRP:n säteilysuojelua varten määrittelemät ominaisuudet ja ICRP:n julkaisussa no. 89 (ICRP 2002) määritellyt anatomiset ja fysiologiset ominaisuudet.

Potentiaalinen altistus (Potential exposure)

Mahdollinen altistuminen, jota ei kuitenkaan varmuudella voida ennakoida. Se voi olla seurausta onnettomuudesta, tapahtumasta tai sarjasta tapahtumia, joita voi satunnaisesti tapahtua. Näihin kuuluvat myös laiteviat ja inhimilliset erehdykset.

Potilaan säteilyaltistuksen vertailutaso (Diagnostic reference level)

Etukäteen määriteltä röntgentutkimuksen säteilyannostaso tai isotooppitutkimuksen aktiivisuustaso, jonka ei oleteta ylittyvän normaalikokoiselle potilaalle hyvän käytännön mukaan tehdyssä toimenpiteessä.

Radioaktiivinen aine (Radioactive material)

Radionuklideja sisältävä aine, joka on säteily- tai ydinenergialain mukaisen valvonnan alaista.

Rajaus (Exclusion)

Tiettyjen altistumista aiheuttavien säteilylähteiden tai -toimintojen tietoinen rajaaminen säädösten ja niissä esitettyjen vaatimuksien sovellusalueen ulkopuolelle.

RBE

Katso 'Suhteellinen biologinen tehokkuus'.

Referenssiarvo (Reference value)

Parametrin arvo, jota ICRP suosittelee käytettäväksi biokineettisissä malleissa, jos tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä. Vertailuarvoja on käytetty annoskertoimien laskemiseksi julkaisussa ICRP no. 89 (ICRP 2002). Jotta vältettäisiin pyöristysvirheiden kasaantumista laskelmissa, referenssiarvot ilmoitetaan joskus suuremmalla tarkkuudella kuin kokeellisena tuloksena saadun arvon epävarmuus edellyttäisi.

Riskirajoitus (Risk constraint)

Riskirajoitus vastaa annosrajoitusta, mutta liittyy potentiaaliseen altistukseen. Se on tulevaisuutta koskeva ja etukäteen tehtävä, tiettyyn säteilylähteeseen liittyvä yksilön riskin rajoitus (potentiaalisen altistuksen aiheuttaman haitan todennäköisyyden suhteen), joka antaa kohtuullisen suojan uhanalaisimmille henkilöille (edustaville henkilöille) tietyn lähteen aiheuttamalta riskiltä ja jota käytetään yksilön riskin ylärajana, kun suojelua optimoidaan. Riski riippuu annosta aiheuttavan poikkeavan tapahtuman todennäköisyydestä ja tapahtumasta koituvan haitan todennäköisyydestä.

Saanti, I (Intake)

Elimistöön hengityselinten, ruoansulatuselinten tai ihon kautta joutuneen radioaktiivisen aineen aktiivisuus.

Akuutti saanti

Saanti, jonka katsotaan tapahtuneen nopeasti yhdellä kerralla.

Krooninen saanti

Saanti, joka tapahtuu tietyn ajan kuluessa.

Sievert, Sv (Sievert)

SI-järjestelmän mukainen ekvivalenttiannoksen, efektiivisen annoksen ja käytösuureiden yksikön nimi; yksikkö on $J \cdot kg^{-1}$.

Suhteellinen biologinen tehokkuus (RBE)

(Relative biological effectiveness)

Vertailusäteilystä, jolla on pieni LET-arvo, aiheutuvan annoksen suhde saman biologisen vaikutuksen aiheuttavan tarkasteltavan säteilyn annokseen. RBE-arvot vaihtelevat riippuen annoksesta, annosnopeudesta ja tarkasteltavasta biologisesta seurausvaikutuksesta.

Suojelusuureet (Protection quantities)

Annossuureet, jotka ICRP on kehittänyt säteilysuojelun tarpeisiin ja joiden avulla voidaan ilmaista keholle ionisoivasta säteilystä aiheutuneen altistuksen määrä. Annossuureilla voidaan ilmaista sekä ulkoisesta säteilystä koko keholle tai kehon osalle aiheutunut altistus että radionuklidien saannin kautta aiheutuva altistus.

Suora vaikutus (Deterministic effect)

Suurilla annoksilla tapahtuva, solukuolemasta johtuva vaikutus, kudosaaurio. Suorille vaikutuksille on tyypillistä, että ne tapahtuvat vasta jotakin kynnysarvoa suuremmilla annoksilla ja annoksen kasvaessa haitta-aste kasvaa jyrkästi.

Suunnattu annosekvivalentti, $H'(d, \Omega)$ (Directional dose equivalent)

Säteilykentän pisteessä oleva annosekvivalentti, jonka aiheuttaisi vastaava laaja kenttä ICRU-pallossa syvyydellä d kulloinkin erikseen määritettävässä säteen suunnassa Ω . Suunnatun annosekvivalentin yksikkö on $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ja yksikön nimi on sievert (Sv).

Suunniteltu altistustilanne (Planned exposure situation)

Tavanomaiset säteilylähteiden ja ydinenergian käyttötilanteet. Suunniteltuihin altistustilanteisiin kuuluvat myös laitosten ja laitteiden purkaminen, radioaktiivisten jätteiden loppusijoitus ja aikaisemmin käytössä olleiden maa-alueiden kunnostus.

Säteilyn painotuskerroin, w_R (Radiation weighting factor)

Kerroin, jolla elimen tai kudoksen keskimääräinen absorboitunut annos kerrotaan laskettaessa ekvivalenttiannosta. Kertoimella huomioidaan LET-arvoiltaan erilaisten säteilylaatujen erilainen biologinen vaikutus. Painotuskerroin on laaduton.

Säteilyn satunnainen (stokastinen) vaikutus

(Stochastic effect of radiation)

Kasvaimet ja perinnölliset vaikutukset. Vaikutuksen esiintymisen todennäköisyyden, mutta ei sen vakavuuden, katsotaan olevan suoraan verrannollinen annokseen ilman kynnysarvoa.

Säteilysuojelun periaatteet (Principles of protection)

Periaatteet, joita tulee noudattaa kaikissa valvottavissa olevissa altistustilanteissa: oikeutusperiaate, optimointiperiaate ja yksilönsuojaperiaate.

Säteilyvaaratilanne (Emergency)

Uhkaava tai olemassa oleva tilanne tai tapahtuma, joka edellyttää nopeaa toimintaa, jotta ihmisten terveyteen ja turvallisuuteen, elämän laatuun, omaisuuteen tai ympäristöön kohdistuva uhka tai haitalliset seuraukset voitaisiin estää tai rajoittaa.

Tarkkailualue (Supervised area)

Alue, joka ei ole valvonta-alue, mutta jolla työolosuhteita tarkkaillaan työntekijöiden suojelemiseksi säteilyltä, vaikka erityisiä suojelutoimenpiteitä ei tavallisesti tarvitakaan.

Enimmäistaso (Reference level)

Vaaratilanteessa tai vallitsevassa altistustilanteessa enimmäistasot edustavat sitä annoksen tai riskin tasoa, jota suurempaa altistusta ei suojelun suunnittelussa tule sallia, ja jonka alapuolella suojelua pitää optimoida. Enimmäistasolle valittava arvo riippuu kyseessä olevaan altistustilanteeseen liittyvistä taustatekijöistä.

Toimiva johto (Operating management)

Henkilö tai henkilöryhmä, joka johtaa, valvoo ja arvioi organisaation toimintaa sen ylimmällä tasolla.

Turvajärjestelyt (Security)

Toimenpiteet, joilla pyritään havaitsemaan ja ehkäisemään ydinaineiden ja muiden radioaktiivisten aineiden varkaus, sabotointi tai laitton siirtäminen, luvaton sisään tunkeutuminen näitä aineita sisältäviin laitoksiin tai muu vastaava pahanthahtoinen teko. Tähän kuuluu myös vastatoimenpiteisiin ryhtyminen pahanthahtoisien teon tapahduttua.

Turvallisuus (Safety)

Asianmukaisten käyttöolosuhteiden saavuttaminen, onnettomuuksien ehkäiseminen tai onnettomuuden seurauksien lieventäminen.

Tykösädehoito (Brachytherapy)

Sädehoito, jossa potilaan kehoon tai sen pinnalle asetetaan radioaktiivinen umpi- tai avolähde.

Tyyppieläimet ja -kasvit (Reference Animals and Plants)

Tyyppieläin tai tyyppikasvi on hypoteettinen eliö, jolla on tietyn tyyppisen eläimen tai kasvin perusominaisuudet. Sen anatomisia, fysiologisia ja elintapaan liittyviä ominaisuuksia voidaan käyttää arvioimaan altistuksen suhdetta annokseen ja annoksen suhdetta sen vaikutukseen tämän tyyppisellä eliöllä.

Työnantaja (Employer)

Yksityinen tai julkinen organisaatio, yhtiö, laitos, säätiö, yhdistys tai muu kansallisen lainsäädännön mukainen yhteisö tai toiminnanharjoittaja, jolla on molemminpuolisesti hyväksyttyyn oikeussuhteeseen perustuva vastuu ja velvollisuuksia työntekijää kohtaan.

Työntekijä (Worker)

Jokainen henkilö, joka työskentelee jonkun työnantajan palveluksessa ja jolla on työntekijöiden säteilysuojeluun liittyviä oikeuksia tai velvollisuuksia. Työntekijäksi katsotaan myös elinkeinon tai ammatin harjoittaja.

Työperäinen altistus (Occupational exposure)

Kaikki altistus, joka kohdistuu työntekijään hänen työssä ollessaan, paitsi 1) vaatimuksista tai valvonnasta vapautetusta toiminnasta tai lähteestä aiheutuva altistus; 2) lääketieteellinen altistus; ja 3) normaali paikallinen luonnon taustasäteily.

Vaaratilanne

Katso 'Säteilyvaaratilanne'

Vaaratilanteesta johtuva altistustilanne (Emergency exposure situation)

Odottamaton altistustilanne, joka vaatii kiireellisiä toimenpiteitä. Saattaa tapahtua normaalin säteilytoiminnan yhteydessä, mutta myös pahantahtoisen toiminnan seurauksena.

Vallitseva altistustilanne (Existing exposure situation)

Altistustilanne, joka on jo olemassa, kun päätös valvonnasta tehdään. Vallitseva altistustilanne voi johtua luonnon säteilystä tai menneestä toiminnasta, jossa nykyisiä säteilysuojeluohjeita ei ole noudatettu.

Valvonnasta vapauttaminen (Exemption)

Valvontaviranomaisen päätös siitä, että jokin säteilylähde jätetään kokonaan tai osittain valvonnan ulkopuolelle.

Valvonta-alue (Controlled area)

Alue, jolla on noudatettava erityisiä turvallisuusohjeita työntekijöiden suojelemiseksi säteilyltä, potentiaalisen altistuksen ehkäisemiseksi tai rajoittamiseksi ja radioaktiivisen kontaminaation ehkäisemiseksi, ja jonne pääsyä valvotaan.

Vapaa annosekvivalentti, $H^*(10)$ (Ambient dose equivalent)

Annosekvivalentti säteilykentän pisteessä, jonka aiheuttaisi vastaava suunnattu laaja kenttä ICRU-pallossa 10 mm:n syvyydellä kentän suuntaisella säteellä säteilyn tulosuunnan puolella. Vapaan annosekvivalentin yksikkö on $J \cdot kg^{-1}$. Yksikön nimi on sievert (Sv).

Väestöaltistus (Public exposure)

Väestölle eri säteilylähteistä aiheutuva altistus. Väestöaltistukseen ei lasketa kuuluvaksi henkilöiden työperäistä tai lääketieteellistä altistusta eikä altistumista tavanomaiselle paikalliselle luonnon taustasäteilylle.

Vältetty annos (Averted dose)

Vastatoimenpiteellä tai suojelutoimenpiteellä vältetty säteilyannos.

STUK-A-sarjan julkaisuja

STUK-A235 Mustonen R, Sjöblom K-L, Bly R, Havukainen R, Ikäheimonen TK, Kosunen A, Markkanen M, Paile W. Säteilysuojelun perussuosituksat 2007. Suomenkielinen lyhennelmä julkaisusta ICRP-103. Helsinki 2009.

STUK-A234 Belyakov O (Ed.). Non-targeted effects of ionising radiation. Proceedings of the RISC-RAD specialised training course "Non-targeted effects of ionising radiation". STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland 14–16 February 2005. Helsinki 2008.

STUK-A233 Arvela H, Valmari T, Reisbacka H, Niemelä H, Oinas T, Mäkeläinen I, Laitinen-Sorvari R. Radontalkoot – Tilannekatsaus 2008. Helsinki 2008.

STUK-A232 Kiljunen T. Patient doses in CT, dental cone beam CT and in projection radiography in Finland, with emphasis on paediatric patients. Helsinki 2008.

STUK-A231 Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Helsinki 2008.

STUK-A230 Salomaa S, Sirkka L (toim.). Tutkimushankkeet 2006–2008. Helsinki 2008.

STUK-A229 Arvela H, Reisbacka H. Asuntojen radonkorjaaminen. Helsinki 2008.

STUK-A228 Toivonen H, Lahtinen J, Pöllänen R (toim.). Säteilyyn liittyvät uhkakuvat – Ydinvoimalaturma. Helsinki 2009.

STUK-A227 Ilus E, Klemola S, Vartti V-P, Mattila J, Ikäheimonen TK. Monitoring of radionuclides in the vicinities of Finnish nuclear power plants in 2002–2004. Helsinki 2008.

STUK-A226 Sinkko K, Ammann M, Hämäläinen RP, Mustajoki J. Facilitated workshop – A participatory method for planning of countermeasures in case of a nuclear accident. Helsinki 2008.

STUK-A225 Vesterbacka P, Turtiainen T, Hämäläinen K, Salonen L, Arvela H. Avlägsnande av radionuklider från hushållsvatten. Helsingfors 2008.

STUK-A224 Kuukankorpi S, Toivonen H, Moring M, Smolander P. Mobile spectrometry system for source finding and prompt reporting. Helsinki 2007.

STUK-A223 Jussila P. Thermomechanics of swelling unsaturated porous media. Compacted bentonite clay in spent fuel disposal. ScD Thesis. Helsinki 2007.

STUK-A222 Hutri K-L. An approach to palaeoseismicity in the Olkiluoto (sea) area during the early Holocene. Helsinki 2007.

STUK-A221 Valmari T, Arvela H, Reisbacka H. Päiväkotien radonkartoitus. Helsinki 2007.

STUK-A220 Karppinen J, Järvinen H. Tietokonetomografialaitteiden käytön optimointi. Helsinki 2006.

STUK-A219 Tapiovaara M. Relationships between physical measurements and user evaluation of image quality in medical radiology – a review. Helsinki 2006.

STUK-A218 Ikäheimonen TK, Klemola S, Ilus E, Vartti V-P, Mattila J. Monitoring of radionuclides in the vicinities of Finnish nuclear power plants in 1999–2001. Helsinki 2006.

STUK-A217 Ikäheimonen TK (toim.). Ympäristön radioaktiivisuus Suomessa – 20 vuotta Tshernobylistä. Symposium Helsingissä 25.–26.4.2006. Helsinki 2006.

STUK-A216 Pastila R. Effect of long-wave UV radiation on mouse melanoma: An in vitro and in vivo study. Helsinki 2006.

STUK-A215 Rantavaara A. Suojaustoimenpiteet elintarvikkeen tuotantoketjussa radioaktiivisen laskeuman haittojen vähentämiseksi. Helsinki 2005.

STUK-A214 Sinkko K, Ammann M, Hämäläinen RP, Mustajoki J. Facilitated workshop on clean-up actions in inhabited areas in Finland after an accidental release of radionuclides. Helsinki 2005.

STUK-A213 Vesterbacka P. ²³⁸U-series radionuclides in Finnish groundwater-based drinking water and effective doses. Helsinki 2005.

STUK-A212 Kantala T. Elintarvike-teollisuuslaitosten ja niiden ympäristön puhdistustoimenpiteet säteilytilanteessa. Helsinki 2005.

STUK-A211 Muikku M, Arvela H, Järvinen H, Korpela H, Kostiainen E, Mäkeläinen I, Vartiainen E, Vesterbacka K. Annoskakku 2004 – suomalaisten keskimääräinen efektiivinen annos. Helsinki 2005.

STUK-A210 Salomaa S, Ikäheimonen TK (Eds.). Research Activities of STUK 2000–2004. Helsinki 2005.

STUK-A209 Valmari T, Rantavaara A, Hänninen R. Radioaktiivisten aineiden siirtyminen ilmasta suoraan elintarvikkeisiin säteilytilanteen aikana. Helsinki 2004.

STUK-A-raportit STUKin verkkosivuilla:

http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/listaus/?sarja=STUK-A



Laippatie 4, 00880 Helsinki
Puh. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500
www.stuk.fi

ISBN 978-952-478-439-9

ISSN 0781-1705

Editia Prima Oy, Helsinki 2009